无线电

2010年合订本 上

1955年创刊　www.radio.com.cn　邮发代号：2-75　国外代号：M106

《无线电》编辑部 编

本书附赠光盘　为爱好者和专业人士奉献的精品图书（试读版）
单片机源程序、印制电路板图等

2010年第1期～第6期

特别策划　音频应用　广播爱好者　火腿通信　测试测量　玩转单片机　实用电路制作　维修帮手　初学者园地

享受广播 - TECSUN
Enjoy broadcasting

TECSUN
德生牌收音机
中国驰名商标

因为梦着你的梦……
……一群广播爱好者为众多广播爱好者精心打造的收音机！
S-2000 & PL-660

www.tecsun.com.cn　德生淘宝店：http://best-radio.taobao.com

二次变频全波段收音机系列　PL-600／PL-450／PL-210／PL-9710／PL-9700DX

东莞市德生通用电器制造有限公司　地 址：中国广东省东莞市东城区莞长路189号德生大楼　邮编：523071　电话：0769-23167118　传真：0769-23160700

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

无线电

Radio.com.cn

引领电子爱好 享受制作乐趣
体验实战魅力 展现爱好精彩

每期定价：10元
全年订阅：120元
邮发代号：2-7

欢迎订阅
《无线电》杂志

杂志订阅方式：

1. 各地邮局均可订阅（收订热线：11185）
2. 汇款到杂志社邮购
   汇款地址：北京市东城区崇文夕照寺街14号A座《无线电》杂志（100061），收款人：《无线电》杂志
   （请务必注明您的姓名、地址、邮编、电话及购买内容）
3. 网上购买：（1）邮政网上订阅：bk.chinapost.com.cn（客服电话：400-6611185）
   （2）淘宝代理店：boqu.taobao.com（主营杂志、图书及杂志社的周边产品）
   （3）卓越网：www.amazon.com.cn（登陆卓越网→搜索无线电杂志→购买）
4. 电话订阅：拨打116114，按“0”键转人工服务进行订阅，上门服务（仅限北京）

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

ISBN 978-7-115-24392-8

9 787115 243928 >

ISBN 978-7-115-24392-8

定价：40.00 元（附光盘）

无线电合订本

2010年（上）

《无线电》编辑部　编

人民邮电出版社

北　京

图书在版编目（CIP）数据

《无线电》合订本. 2010年. 上 / 《无线电》编辑部编. -- 北京 ：人民邮电出版社，2011.1
ISBN 978-7-115-24392-8

Ⅰ. ①无… Ⅱ. ①无… Ⅲ. ①无线电技术－2010－丛刊 Ⅳ. ①TN014-55

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第247302号

内 容 提 要

《无线电》合订本2010年（上）囊括了《无线电》杂志2010年第1～6期所有栏目的全部内容，并经过了再次加工整理，按期号、栏目、专题等重新分类编排，以方便读者阅读。

随书附赠的光盘中收录了为爱好者和专业人士奉献的系列精彩图书的试读版，还收录了与文章相关的印制电路板图、电路原理图、源程序等。

本书内容信息量大，涉及电子技术广泛，文章精炼，技巧经验丰富，实用性强，适合广大电子爱好者、电子技术人员及相关专业师生阅读。

《无线电》合订本 2010（上）

◆ 编　　《无线电》编辑部
责任编辑　房　桦　尹　飞　邓　晨

◆ 人民邮电出版社出版发行　北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编　100061　电子函件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
北京鑫正大印刷有限公司印刷

◆ 开本：787×1092　1/16
印张：36.25
字数：1148 千字　2011 年 1 月第 1 版
印数：1－10 000 册　2011 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-24392-8

定价：40.00 元（附光盘）

读者服务热线：(010)67132837　印装质量热线：(010)67129223
反盗版热线：(010)67171154
广告经营许可证：京崇工商广字第 0021 号

无线电

CONTENTS

2010年合订本（上）

目 录

特别策划

DIS.MUSIC3 —— 炫彩你的音乐世界 ◎杜洋（001）

万用表选购指南 ◎杨法（BD4AAF）（008）

两个BEAMBOTS太阳能机器人 ◎荣新华（BD6CR/4）译（014）

ARM小记 ◎杜洋（023）

电子制作工作台 ◎曾学明 夏明新 译（028）

好玩的骰子 ◎曾学明 夏明新 译（032）

LED小夜灯 ◎译言 译（036）

雕刻机专题

我心目中的CNC——什么是雕刻机 ◎李开宇（042）

认识数控雕刻机——机械篇 ◎asiandiy（046）

认识数控雕刻机——电机与驱动篇 ◎温正伟（048）

雕刻机爱好者如是说 ◎明浩（051）

音频应用

重温岁月流逝的声音再做STK4191V厚膜功放 ◎李俊杰（053）

性能稳定设计优良的DAC套件（杂志社有售）◎aeon（056）

音箱基础知识

扬声器的低音与锥盆可驱动空气体积 ◎曾念民（061）

百元打造全自动MP3定时播放系统 ◎华良云（063）

认识“高清播放机”的“芯” ◎吴红奎（065）

修复一对报废的飞乐全频扬声器 ◎倪文贤（069）

自己动手制作CD转盘—— 光驱篇 ◎吴巍（072）

改造一对损坏的球顶高音扬声器 ◎倪文贤（077）

音箱基础知识

低音扬声器的谐振与Q值 ◎曾念民（080）

摩的音箱的制作与调整 ◎吴红奎（082）

小甲诞生全记录——25W晶体管甲类Hi-Fi功率放大器 ◎韩锁（BG5CJT）（090）

精美高效的D类功放套件——MINI USB AMP ◎aeon（098）

打磨南欣2.1电脑音箱 ◎毛冬（103）

音箱基础知识

密闭式音箱的原理和设计 ◎曾念民（106）

音频传输的平衡/不平衡方式及抗干扰 ◎姚贵林（108）

经典实用的CDM12顶推式CD机套件 ◎aeon（110）

经典厚膜STK4191 X的新玩法——自举恒流两版本电路 ◎林伟淏（116）

音箱基础知识

亥姆霍兹共振腔与倒相音箱的原理 ◎曾念民（121）

新书鉴赏

浅析两本国外音频功放名著 ◎薛国雄（123）

新书节选

音频功率放大器的主要问题 ◎钟旋 薛国雄译（124）

制作一对铝带高音扬声器 ◎倪文贤（127）

2010新版音箱测量套件 ◎邬志扬（130）

第八届音响DIY大赛一等奖

为了0.1的震撼！——记我制作的重低音系统 ◎陈金瓶（134）

第八届音响DIY大赛二等奖

我也做了一件像样的Hi-Fi作品 ◎罗裕辉（140）

第八届音响DIY大赛三等奖

自制高性能纯FM调谐器 ◎吴金贤（144）

音箱基础知识

倒相音箱的设计 ◎曾念民（149）

北京音响爱好者联谊会正式成立 ◎曾阳明（152）

改造一对15英寸低音单元 ◎倪文贤（153）

MINI 1793 DAC套件 ◎aeon（156）

用丹麦达尼6.5英寸扬声器制作的一款书架音箱 ◎林芝松（159）

CONTENTS

来自挪威的感动——记Clair音箱的制作
◎韩镄（BG5CJT）（164）
音箱基础知识
分频器与扬声器相位 ◎曾念民（170）

广播爱好者

鉴赏与收藏
国产十大台式电子管名机 1——飞乐272型收音机
◎陈汉燕（175）
好马配好鞍——给德生S2000收音机配备
大容量1号充电电池 ◎张建雄（179）
鉴赏与收藏
国产十大台式电子管名机2——上海131型收音机
◎陈汉燕 徐蜀（181）
宝刀不老的ZENITH电子管收音机 ◎陈祖德（187）
对飞利浦MCM138D微型组合音响进行摩机 ◎吴红奎（189）
鉴赏与收藏
鉴赏德式名机——TELEFUNKEN（德律风根）OPUS 2430型
电子管收音机 ◎陈祖德（194）
鉴赏与收藏
国产十大台式电子管名机 3——上海132型收音机
◎陈汉燕 徐蜀（196）
凯隆D39L收音机随机锂电池修复手记 ◎樟门（201）
国产十大台式电子管名机4——上海133型收音机
◎陈汉燕 徐蜀（204）
共同的爱好，美好的相聚 ◎本刊记者（206）
鉴赏与收藏
红灯伴我听广播——我玩电子管收音机 ◎张建雄（207）
玩玩高性能收音头 ◎梓门（210）

火腿通信

业余卫星通信设备选购指南 ◎杨法（BD4AAF）（216）
双MOXON业余卫星通信天线 ◎刘燕北（BD2BH）（220）
收发信机DIY实战
DIY袖珍短波单边带收发信机 ◎时刻（BA6BF）（222）
“KX1”中国造——HB-1A“黑豹”试用记
◎阮东升（BA6QH）（226）
天线基础讲座
说说偶极天线 ◎ 刘燕北（BD2BH）译（231）
容易制作成功的单频点发信机 ◎卜凡（233）
收发信机DIY实战
袖珍式短波单边带收发信机 ◎时刻（BA6BF）（235）
微弱与简洁之美——“鼹鼠”微功率40m波CW收发信机
制作心得 ◎张辉（BA6IT）（240）
天线基础讲座
偶极天线的馈送 ◎ 刘燕北（BD2BH）译（244）
探索我们身边的频率（上） ◎杨法（BD4AAF）（252）
天线基础讲座
四波段偏馈偶极天线 ◎ 刘燕北（BD2BH）译（250）
探索我们身边的频率（下） ◎杨法（BD4AAF）（252）
ARRL《业余无线电手册》经典制作
用于YAESU或ICOM电台的外置自动天线切换开关
◎王龙（BA4RX）译（256）
天线基础讲座
选对一副好天线 ◎杨法（BD4AAF）（261）
与充电器零距离接触
充电器精要大解密 ◎聆听（264）
选择适合自己的充电器 ◎聆听（269）
特色充电器全接触 ◎聆听（270）
走进螺丝刀的世界 ◎聆听（273）
业余电台仪器实战系列1
功率计使用攻略 ◎杨法（BD4AAF）（278）

测试测量

更上一层楼——手工打造频率超过10MHz的DDS信号源
◎卫小鲁（283）
数字示波器DIY
随着兴趣一路走来 ◎魏坤（287）
不变的结构 优化的性能——硬件电路 ◎魏坤（289）

CONTENTS

不变的结构 优化的性能——硬件电路（续） ◎魏坤（294）
电路制作与调试☆ ◎魏坤 何江海（298）
程序设计中的技巧☆ ◎魏坤（302）

特别策划 数字示波器DIY

《业余无线电手册》译文摘选
测试测量必备基础知识◎王浩淼 王东平 穆新宇译（304）
实用电压表自制方案（306）
巧用数字电压表测量电感和电容（312）
手工打造数字显示陷波表（314）
万用表也发烧 ◎杨法（BD4AAF）（316）
OWON示波表试用报告 ◎杨绪业（320）
实用插座式高精度电能表 ◎吴兵（323）
电烙铁全解析 ◎聆听（326）
实测伊万多功能示波检测仪ET521（续） ◎魏坤（332）
打造一款高精度数控恒流源 ◎周琳凯（334）
简易场强仪 ◎王晓鹏（337）
自制漏电保护器检测仪 ◎顾仲飞（338）

玩转单片机

通用单片机控制器 ◎钱健彪（339）
制作SHOOK16摇摇棒☆ ◎杜洋（342）
烙铁头温度控制电路 ◎周长锁 关山（348）
数字温湿度监控装置☆ ◎张春峰 徐金定（352）
自制通用转速表 ◎李谦祥（354）
用单片机制作新型数字仪表
SK-1A型通用智能仪表的扩展应用 ◎史振道（358）
手把手带你做单片机控制的多通道无线遥控装置2
◎付国迎（360）
通用控制器的左膀右臂——通用控制器的应用及外围器件
◎钱健彪（364）
用单片机制作新型数字仪表
用“实战开发板”制作数字产品 ◎史振道（368）
图解制作潜水机器人 ◎周宝善（371）
简单稳定地感应你——红外感应开关的创新制作☆
◎杜洋（374）
用贴片LED制作的旋转屏数字钟☆ ◎杜灿鸿（380）
手把手带你做单片机控制的多通道无线遥控装置3
◎付国迎（385）
免数码管驱动的0~999V自动量程电压表 ◎秦新月（388）
DIY多头灯具分段控制器☆ ◎温正伟（390）
电机进阶——掌握电机驱动与控制1☆ ◎李文卿（392）
自制用于STC的USB转串口下载器☆ ◎温正伟（398）
用X形金字塔制作重力传感器☆ ◎杜洋（399）
电机进阶2 ——认识和使用步进电机 ◎李文卿（403）
指针式彩屏万年历☆ ◎张坤（407）
用模拟仪表表头做的指针式电子钟 ◎资料室（409）
没有琴弦的电子琴☆ ◎张俊（410）
单片机控制的无线遥控多用电源☆
◎黄培鑫 陈歆 黄忠峰（413）
摆脱束缚 让无线走进生活之鼠标篇 ◎刘亮（418）
电机进阶3 ——拆解伺服电机 ◎李文卿（422）
单片机让数字调频收音化繁为简 ◎卫小鲁（424）
单片机开发工具DIY
再谈用CH341A自制单片机程序下载器
——带着USB向UART和ISP进军！☆ ◎宋宏嘉（429）

实用电路制作

无线遥控的四路扬声器选择器 ◎朱双贵（431）
新器件试用台
用MAX5035制作高压差、高效率稳压模块 ◎任杰（434）
一起来做个太阳能新年灯串 ◎耿伟（437）
论坛精华 远距离无线话筒的制作 ◎草音整理（439）

LED制作特辑

LED闪光警示灯 ◎温正伟（440）
DIY调光小夜灯☆ ◎温正伟（442）
试做简易大功率LED灯 ◎温正伟（444）
用EMT7120设计一款便携高效的MP3外置功放 ◎任杰（445）
论坛精华 深入探讨LM3886电路 ◎草音整理（447）

大功率LED驱动电路详解

大功率LED及其驱动电路 ◎宋思源（448）

7款典型大功率LED驱动电路☆ ◎宋思源（449）
大功率LED驱动电路的综合评价 ◎宋思源（454）
用辉光放电管制作的数字钟 ◎茅凌云（455）
新器件试用台
用MAX9716设计BTL音频功放电路 ◎任杰（460）
论坛精华 简单可靠的锂电池充电方案 ◎草音整理（462）
新器件试用台
用PCM2912制作高性能USB声卡 ◎任杰（464）
教你生成雕刻PCB的刀路文件 ◎温正伟（466）
创意制作 自然体验——椰子音箱 ◎杜灿鸿（470）
论坛精华 征集ICL7129驱动LED方案 ◎草音整理（473）
M8数码相框制作攻略☆ ◎张彬杰（475）
遥控你的客厅照明灯 ◎刘晶（480）
新器件试用台
MAX1797+MAX1551随时为锂电池充电 ◎任杰（482）
论坛精华 电烙铁使用小技巧 ◎草音整理（485）
太阳能音乐播放器☆ ◎张彬杰（487）
论坛精华 如何选购和绕制“环牛”！ ◎草音整理（490）

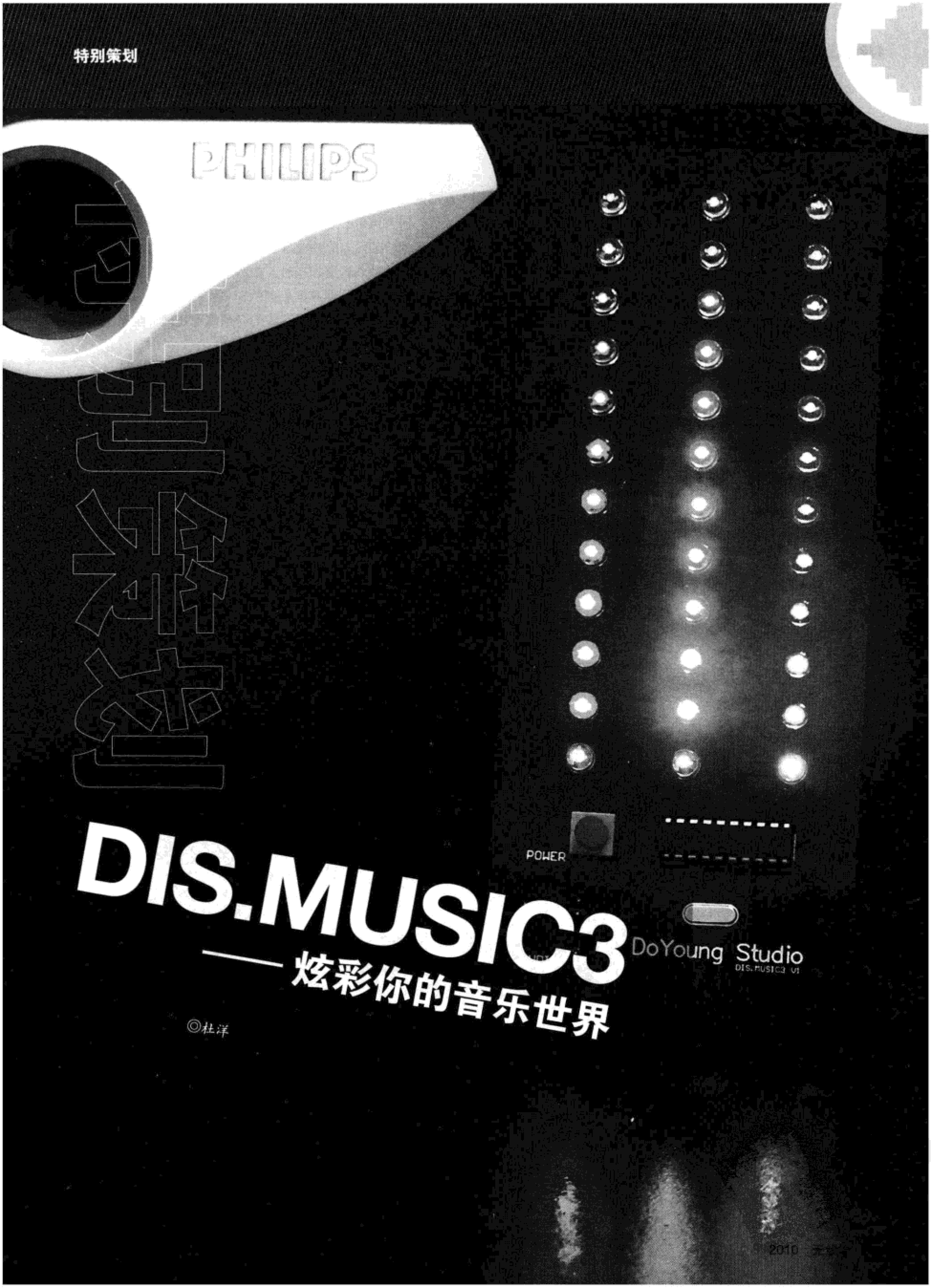
维修帮手

自己动手检修电热水瓶 ◎王绍华（492）
维修手机万能充电器的经验点滴 ◎吴晓波（494）
给您提个醒 如履薄冰换管座 ◎段丽红（494）
一根铜丝救一个投影机灯泡 ◎华良云（495）
问与答 （496）
激光打印机中激光组件的日常维护 ◎华良云（497）
九阳JYC-18X电磁炉检修一例 ◎王绍华（499）
电磁炉加热伴有“叽吱”声的检修 ◎李少怡（500）
问与答 （501）
光驱不读碟的解决办法 ◎徐勇 宫发（502）
电磁炉IGBT管损坏的初探 ◎霍汉明（503）
自己动手检修抽油烟机 ◎王绍华（504）
微波炉内打火的修理经验 ◎王玉龙（505）
问与答 （506）
再谈电磁炉IGBT管击穿检修方法 ◎霍汉明（507）
设计印制电路板中的小技巧 ◎李保平（508）
问与答 （512）
电脑无规律死机（含黑屏）自动重启故障十大原因 ◎王绍华（513）
怎样检修笔记本电脑的电源适配器 ◎张仕宪（515）
问与答 （517）
电热水壶无法加热故障的检修 ◎李惠平（518）
气压、电泵两用型电热水瓶的维修 ◎王绍华（519）
问与答 （521）

初学者园地

常用元器件的识别与使用（八）
神通广大的晶体三极管 ◎张晓东（522）
做个“会叫”的生肖老虎来贺岁 ◎张晓东（527）
迎虎年趣味打靶游戏器 ◎张晓东（532）
常用元器件的识别与使用（九）
与众不同的单结晶体管 ◎张晓东（537）
如何用万用表测量大容量电容参数 ◎张俊霞 武本令（541）
常用元器件的识别与使用（十）
性能优良的场效应晶体管 ◎张晓东（543）
如何用好晶体三极管 ◎张晓东（547）
常用元器件的识别与使用（十一）
“以小控大”的晶体闸流管 ◎张晓东（549）
用好晶体闸流管 ◎张晓东（553）
常用元器件的识别与使用（十二）
灵活易用的三端集成稳压器 ◎张晓东（556）
如何使用三端集成稳压器 ◎张晓东（559）
一款空气桨电动圆周竞速车的创新设计 ◎周宝善 尹永志（562）
带窗口的光敏晶体管 ◎张晓东（565）
电阻使用心得 ◎杜洋（568）
常用元器件的识别与使用（十三）
光敏晶体管使用技巧 ◎张晓东（571）

注：加☆的文章表示注文的相关资料或程序可在本刊网站www.radio.com.cn或本书配刊光盘中获取。



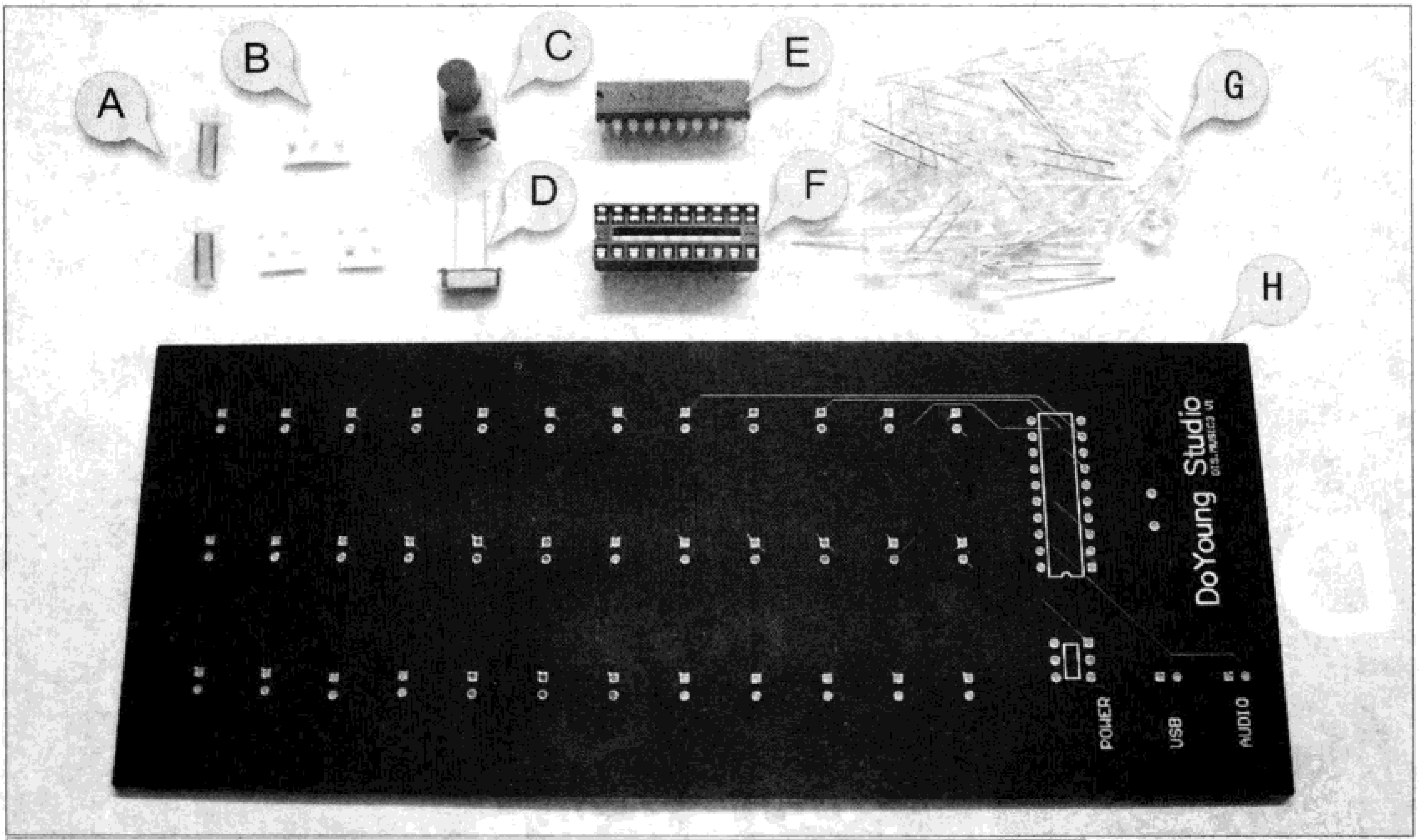
DIS.MUSIC3

——炫彩你的音乐世界

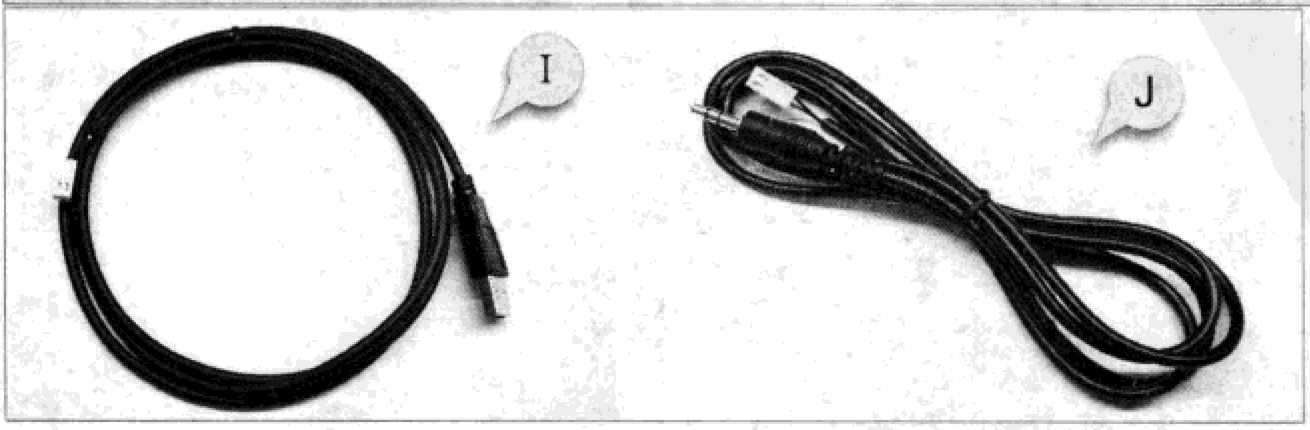
◎杜洋

在我小的时候，家里有一台老式的卡带录音机，当时它已经是我们家里了不得的宝贝了。录音机前面板的正中央有一排小灯，现在知道那是LED。卡带转圈圈，扬声器里传出美妙的音乐，小灯就会随着音乐的起伏而跳动，很是神奇。某日趁爹妈出门在外，小心翼翼地把录音机大卸八块，取出跳动小灯的电路板来研究。只见板上密密麻麻的电阻和三极管，PCB后面的走线也如群蛇盘踞，看到我晕倒也不知其名堂。又过了几年，家里买了VCD影碟机，那老旧的录音机也不再是VIP，于是我又一次当着爹妈的面拆开录音机，准备购买一些LED、三极管和电阻，照着跳动音乐彩灯的电路仿制一个，然后摆在VCD影碟机的旁边。可是认真研究之后才发现，那电路的复杂程度超出了我的预想。当时的我大声感慨：如果以我当时的焊接水平，要想制作这个音乐彩灯，不得做到2010年去呀！哎，没想到一转眼的功夫就到了2010年。2010年的我依然怀揣着童年的梦想，依然没有忘却随音乐跳动的彩灯。2010年的我已经熟练地使用了单片机，何苦再用分立式的三极管和电阻来搭建电路呢？用程序实现的分频可以更精准地显示，软件实现的自动增益控制功能可以让输入音量加减时，依然可以达到理想的彩灯显示效果。没有错，利用高集成度的STC系列单片机，加上极少的外围电路和全部由软件完成的音频信号处理，全新概念的DIS.MUSIC3炫彩音乐显示器问世了。

DIS.MUSIC3具有低、中、高三组音频显示，配合蓝、绿、红这三种颜色的超高亮LED达到炫彩显示效果。我为其专门制作了亮面黑色的PCB，让电路制作更简单，外观也更帅气。LED不仅可以随音乐上下起伏跳动，而且每个LED的亮度强弱也会随音乐闪烁。如此的起伏与闪烁的组合，加之音乐本身的丰富多彩，使得显示效果花样百出。原本只能



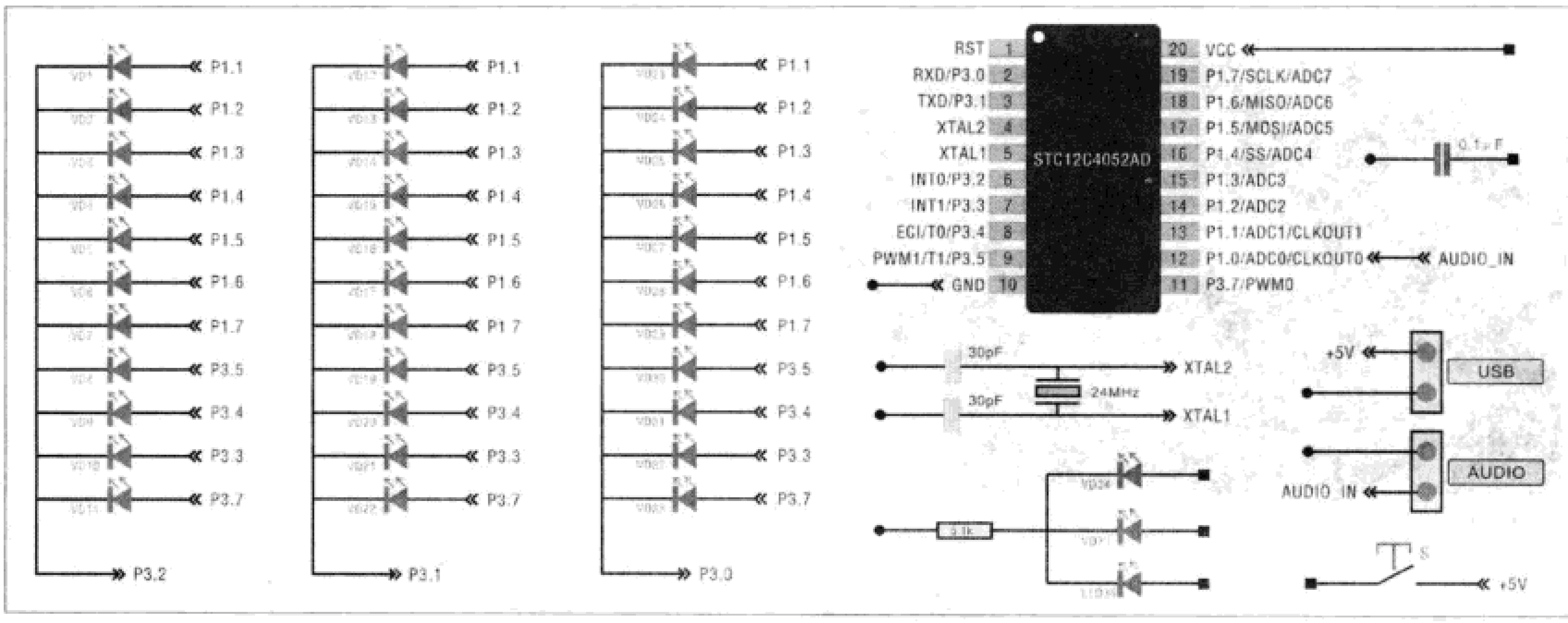
制作DIS.MUSIC3所需要的元器件



音频接口及USB接口连接线

材料清单

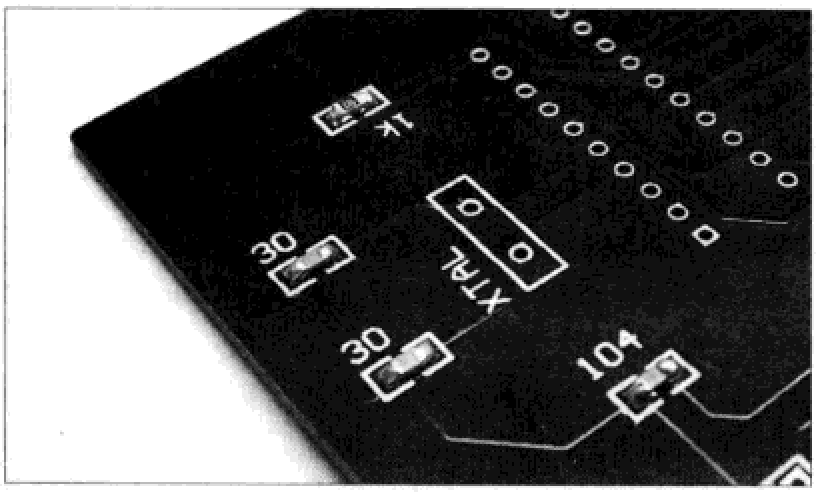
序号	品名	数量	说明
A	2PIN定向接口	2	弯曲形插针
B	0805型贴片电阻、电容	4	包括30pF电容2个，104 μF电容1个，5.1kΩ电阻1个
C	电源开关	1	自锁式开关
D	24MHz石英晶体	1	
E	单片机	1	STC12C4052AD（已经写入DIS.MUSIC3程序的）
F	20PIN芯片座	1	
G	Φ5mm超高亮度LED	36	其中红、绿、蓝色LED各11个，白色LED3个
H	PCB	1	亮面黑色镀锡PCB板
I	USB接口线	1	用于系统电源
J	音频接口线	1	Φ3.5mm接口标准



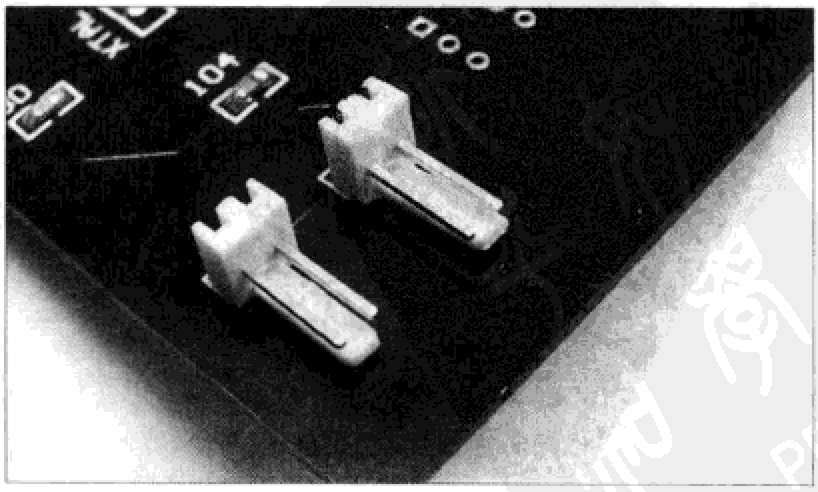
DIS.MUSIC3电路原理图

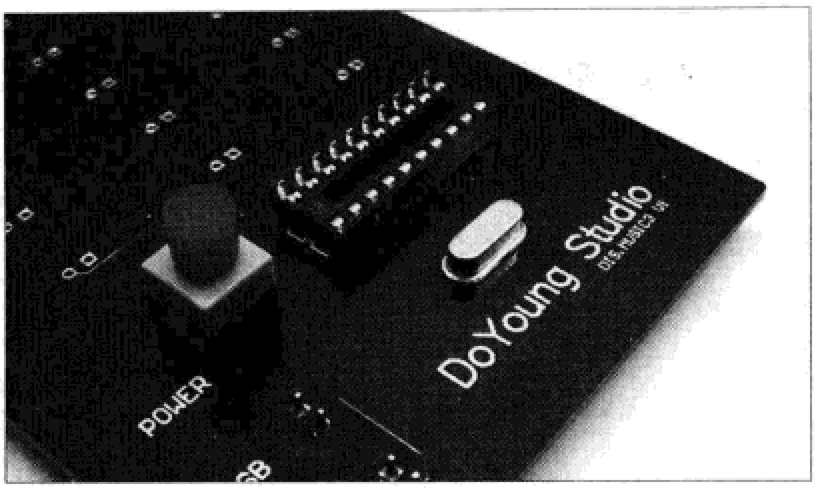
“听”的音乐，现在却能带给你炫酷的“视听”享受。传统的电平指示灯在输入音源的音量改变时，需手动调整电路中的电位器，以达到良好的显示效果。而DIS.MUSIC3则采用软件实现的自动增益控制功能，可以自动判断输入音源的音量，并调整到最佳的显示效果。下面的图文介绍了DIS.MUSIC3的制作方法和基本的技术原理，如果你有幸得到了DIS.MUSIC3的制作套件，那么就请跟着我来制作，实现我们电子爱好者童年时的音乐彩灯梦想吧。

以上是制作 DIS.MUSIC3 所需要的材料，DIS.MUSIC3 制作套件中将提供所有的制作材料，除此之外你还要准备焊接工具、镊子、钳子、万用表等常用工具。准备好你的电脑或MP3，一会儿制作好的 DIS.MUSIC3 将会和你的音乐播放器

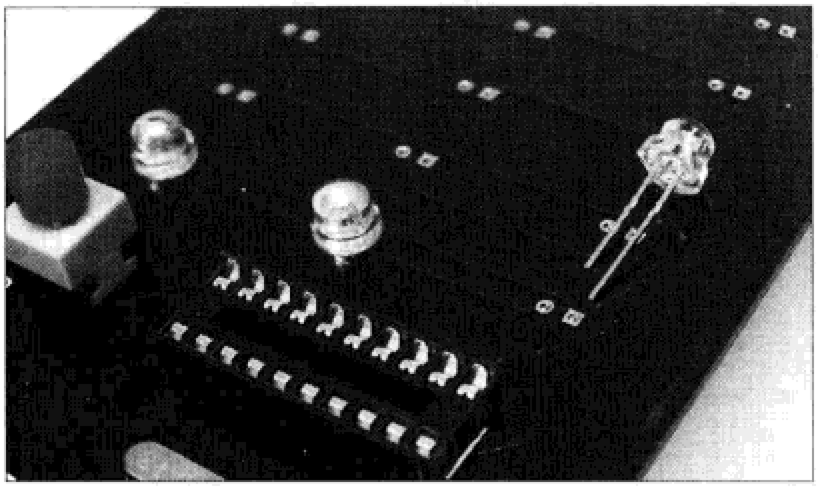


首先来焊接4个贴片元器件

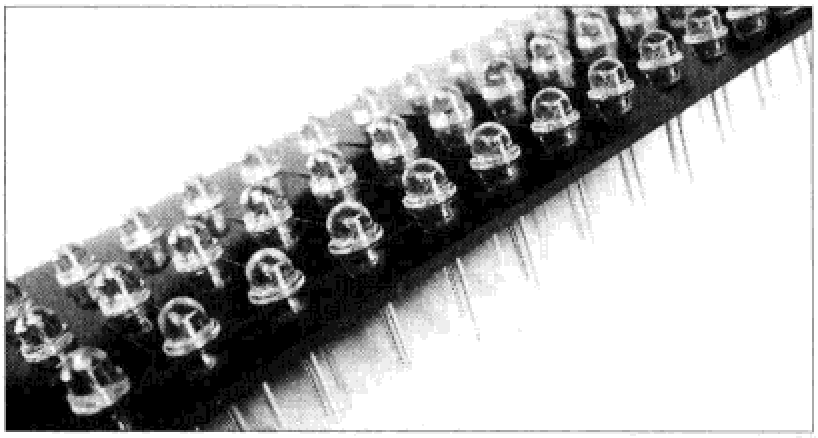

焊接USB接口和音频接口



焊接芯片座、石英晶体和电源开关



焊接LED灯时方形焊盘接LED正极



需要在焊接中调整LED行列位置，使之排列整齐

插入单片机

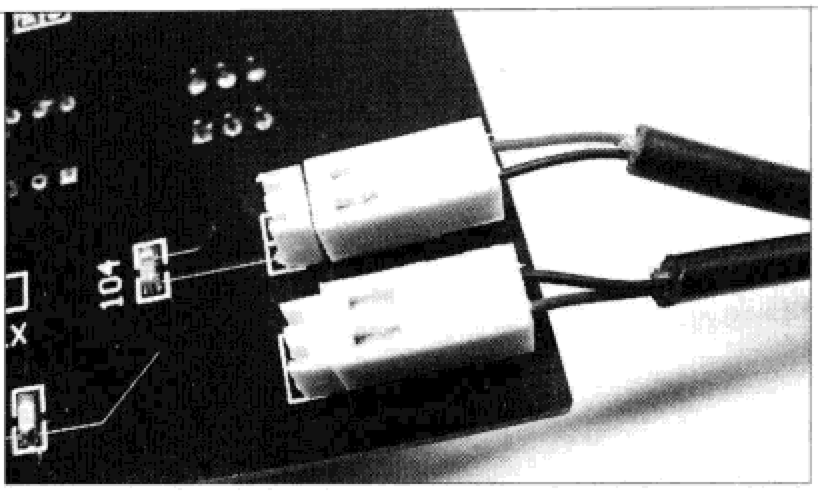
连接。

贴片元器件的焊接，对于某些用惯了直插元器件的朋友来说会有一些困难。你需要准备一个尖头的电烙铁，把烙铁温度控制在350℃左右，然后将贴片电阻和电容的两个焊盘中的其中一个加上锡，使锡在焊盘上呈一个锡球的样子。这时用另一只手拿镊子，轻轻地夹住贴片元件，同时用烙铁熔化刚才制作的锡球，把贴片元件的一端推入锡球当中，然后移开电烙铁。这时贴片元件的一端被焊到了锡球里，另一端正好对应着另一边的空焊盘。下面就是在空焊盘上加锡，贴片元件就完美地焊接好了。刚开始练习的时候可能焊得不好，不要急，静下心来，用不了几次就可以焊得又快又美观了。值得注意的是贴片元器件的耐热性能不好，如果长时间加热，会让贴片元器件两端的焊点脱落，所以烙铁温度不能高，焊接时间不能长。

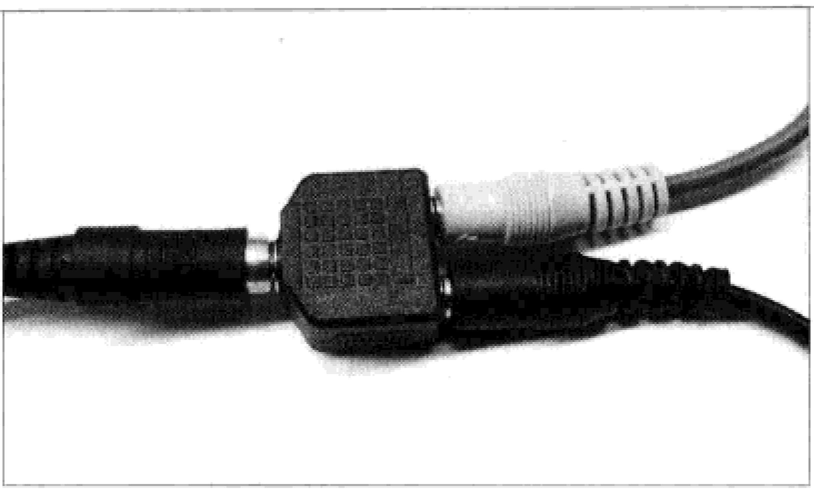
贴片电阻的正面是黑色的，上面会标有数字。比如上面标有512，则表示此电阻是5100Ω的，即5.1kΩ。贴片电容则没有正反面之分，小型号贴片电容上也没有文字标示，只能靠包装上的标签来了解电容参数。本制作里用到的30pF电容和0.1μF电容在外观上很难区别，唯一明显的是30pF电容的颜色比0.1μF电容要浅一些。另一个区别的方法就是在套件中30pF的电容有3个，0.1μF的电容有2个，从数量上判断就容易多了。30pF的电容用于单片机外部晶体振荡器的起振，0.1μF的电容是电源的滤波电容，都是不可或缺的。5.1kΩ电阻则是彩灯组最下面一排白色LED的限流电阻，你也可以试着用其他阻值的电阻，让白色基准LED更亮或更暗一些。

下一步把2PIN的定向接头安装在PCB的背面，焊接在正面的焊盘上。因为焊盘的面积不大，所以并不会影响正面的整体美观。因为与定向接头连接的音频线和USB线是特制的，所以只要定向接头的方向正确，也不会有问题了。唯一需要解释的是有朋友不理解我为什么不采用标准的miniUSB和3.5mm音频接头，而是用这种特殊的定向接头。这一设计并非出于无奈，而是有特别的考虑。要知道如果采用标准的miniUSB和3.5mm音频接头是要占用一些面积的，而且这两种接头必须设计在PCB的边缘，在正常连接时，这两种接头的手柄端就会超出PCB的边缘，而且导线也不容易弯曲。最终让接口处显得很臃肿，影响整体的简洁美观。而这种2PIN的定向接头体积小，连接后导线可以在PCB后面任意弯曲、摆放，从正面几乎看不到连接线。这也算是我的精心设计之一了。

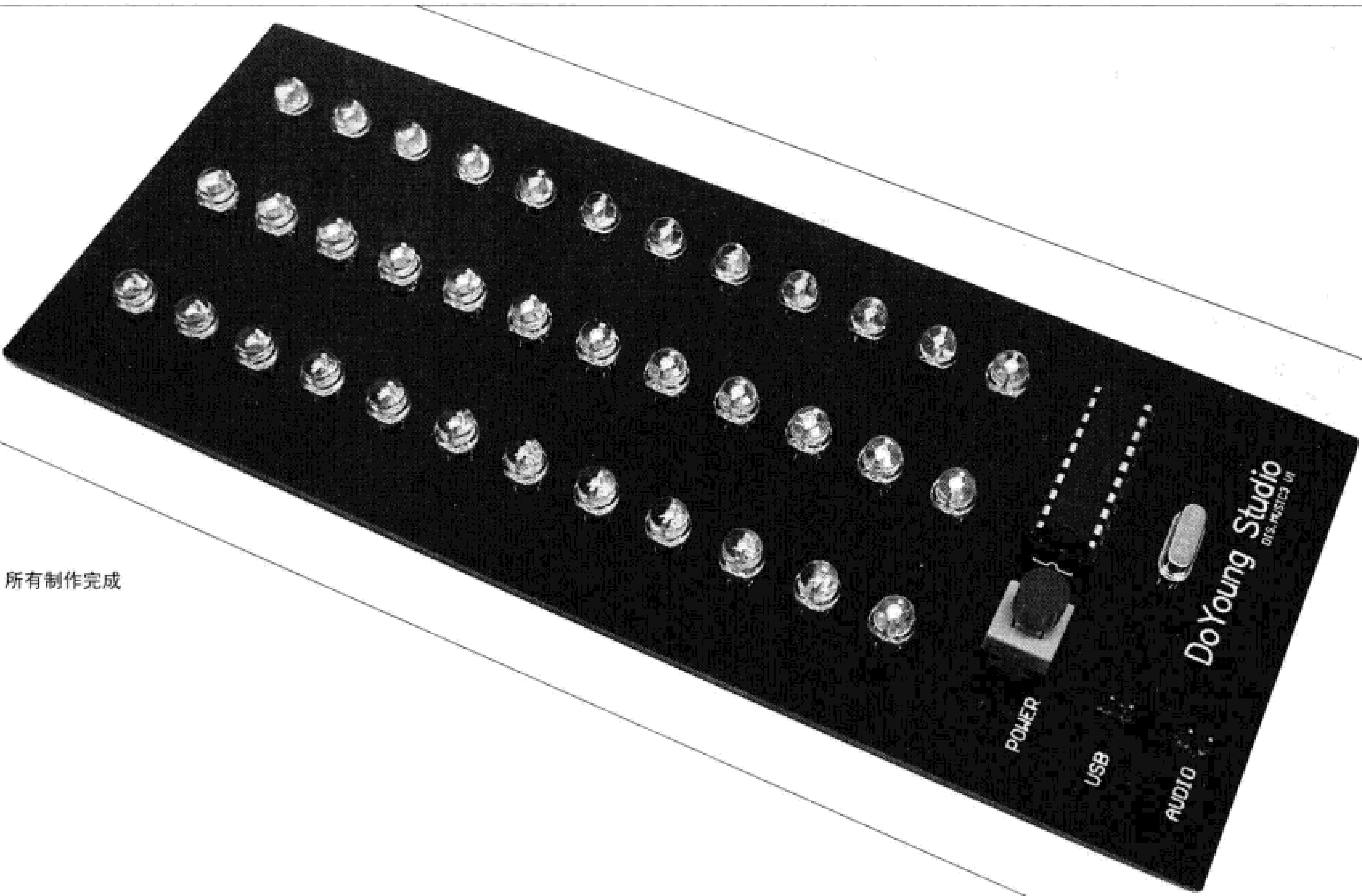
下一步是焊接芯片座、石英晶体、电源开关和LED。芯片座是方便日后取下单片机而设计的，虽然单片机内部已经集成了ESD防静电电路，但还是建议大家在焊接完成后再安



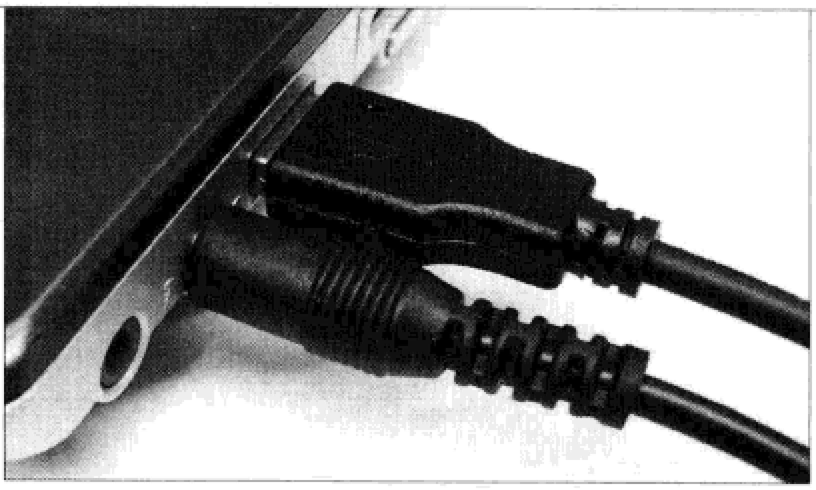
插入音频接口线和USB接口线



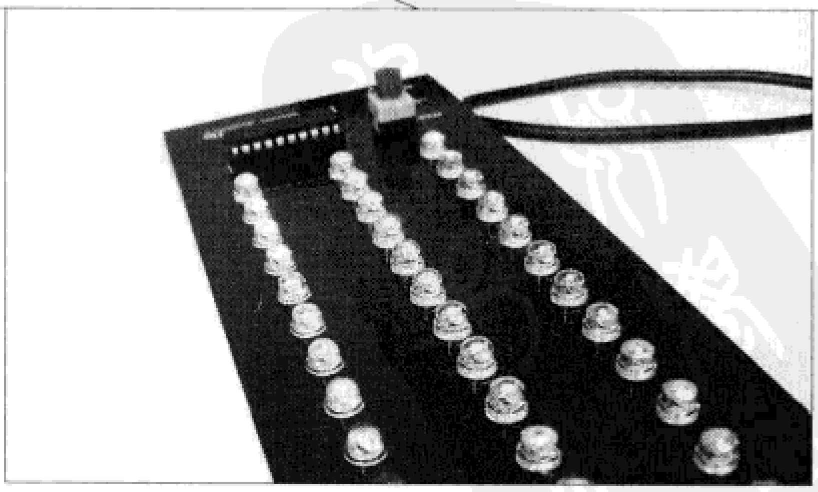
DIS.MUSIC3音频输入端可使用分线器与音响输入端并联



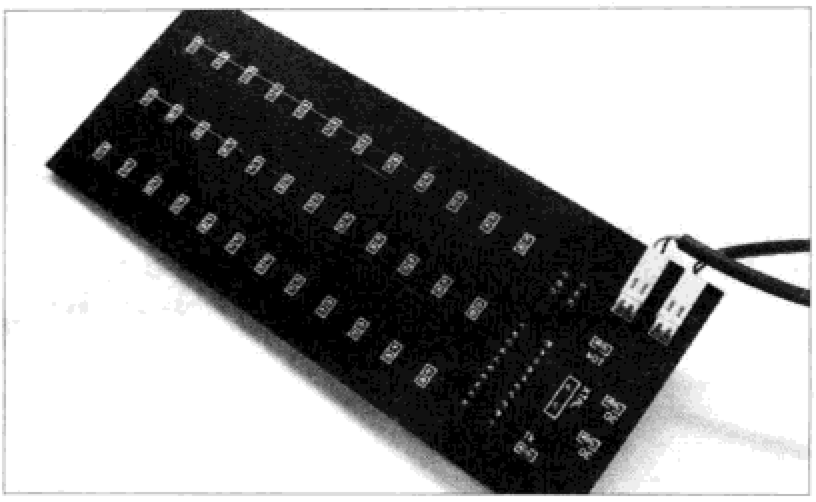
所有制作完成



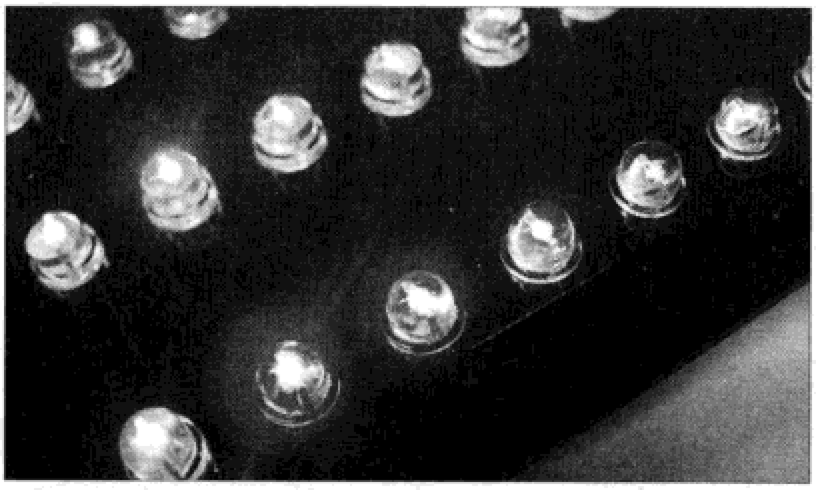
将音频接头和USB接头插入PC



LED随音乐变化而起伏



PCB背面外观整洁



超高亮度LED随音乐强弱而闪烁

装单片机。石英晶体是24MHz的直插式封装，我的设计是焊接在PCB的正面，你也可以像2PIN定向接头一样把晶体焊接在背面。因为单片机的ADC功能需要采集音频信号，所以要求系统的时钟频率一定要高，才可以采集到高音的音频频率。电源开关在焊接时需要注意第1脚的方位，如果电源开关的方向弄错了，就会在开关弹出时上电，按下时掉电了。焊接前先用万用表测量一下更为保险。最后讲一下LED，这是DIS.MUSIC3制作中最重要也是最困难的部分，需要你投入更多的精力来制作。焊接过程一定要按照我下面的方法来做，不然一点点的瑕疵就会在你的心底里埋下阴影。相信我，在顺利完成制作之后，你会有一种强烈的成就感，完美的制作会让这份成就感延续很久，直到你有了新欢。

首先用纽扣电池测量一下每一个LED，看看亮度是否一致。然后按颜色把它们插到PCB的过孔里，PCB上方形的焊盘对应着LED的正极，圆形焊盘对应着LED的负极。左边的一列是低音显示，对应蓝色的LED，中间一列是中音显示，对应绿色的LED，右边的一列是高音显示，对应红色的LED；低、中、高音的最下边一行的3个LED使用白色的LED，作为显示基准位。当然你也可以按照自己的喜好来调换LED灯的颜色，甚至将它们穿插着排列。但我可以很负责任地告诉你，那样做的效果并不理想，不相信可以试试看。

插好LED之后，用一本书垫在LED的正面，然后把PCB翻转过来，PCB的背面朝上，露出LED引脚和焊盘。现在开始焊接了，还是使用尖头电烙铁，把电烙铁的温度调整到300℃左右。先将所有LED一侧的引脚焊接好（只焊接正极一侧或只焊接负极一侧），不用理会LED在正面是否整齐，下面会有调整的动作。焊好之后，我们拿起PCB，这时所有的LED都已经固定住了，虽然看上去东倒西歪的。下面一手拿烙铁，另一只手拿PCB，用食指去按压LED，同时在PCB的背面用烙铁熔化被按压LED的焊接一侧的锡。锡熔化时LED就可以轻易活动了，正好另一只手的食指用力，让LED紧贴在PCB上。按照这个方法调整一下所有的32个LED，最后再从正面观察LED的行、列是否对齐，经过几次调整，排列整齐之后就可以把LED另一侧的引脚焊上了。这里说来简单，制作的时候还是要非常注意的，单次焊接的时间不能过长，不然烧坏了LED就不好玩了。

焊好了LED，也表示硬件制作已经完工。硬件电路实在太精简了，以至于好像还没有开始就已经结束了。插好音频线和USB线，音频线可以用套件中附带的分线器将DIS.MUSIC3与音响并联在一起。DIS.MUSIC3只是通过USB接口来为系统供电，所以不需要安装USB驱动程序，操作系统也不会发现新硬件。因为所有的音频信号处理都由软件完成，所以制作完成后不需要调试就可以直接使用。打开电源开关，让你的电脑或MP3播放音乐，试着调整音量大小，你会发现DIS.MUSIC3会在音量改变后的几秒钟内自动调整到最佳显示效果。试着把DIS.MUSIC3放在黑暗之中，你会发现红、绿、蓝三基色的强弱变化可以组合出五彩斑斓的光。试着播放不同节奏的音乐，体验“丰富多彩”的音乐视觉吧。

也许作为新潮的音乐爱好者，以上的制作就已经足够有趣了。可是作为打破砂锅问到底的单片机爱好者，这样的制作远远不能满足求知的心。他们更想知道我是如何想到这款设计，又是如何实现这些功能的。其中最受关注的当属ADC音频信号的采集方法，软件实现低、中、高音分频显示的方法，还有自动增益控制功能是如何实现的。但这些有趣的知识并不能在如此短的篇幅里分析透彻。那么我就利用下面余下的篇章简单介绍一下DIS.MUSIC3的技术原理，虽不能深入解析，但有兴趣的朋友可以跟随我的思路，独立探究其中奥秘，算是抛砖引玉吧。

LED 驱动原理应该不用过多地介绍了，一直关注我文章的朋友都会从 mini1608 电子钟的逐点扫描和 SHOOK16 摇摇棒的显示原理中找到答案。同样是驱动 LED，DIS.MUSIC3 也是采用点阵列的驱动方式，根据某一音频区间的 ADC 采样数值来驱动 LED 的数量和亮度。具体的原理可以参考我之前的

文章。

ADC音频采集是DIS.MUSIC3功能链条中的第一环，STC12C4052AD系列单片机内部集成了一个8位的ADC功能，在24MHz外部时钟的情况下，ADC的转换速度可以达到9万次每秒。对于一般的音频采集和处理已经足够了。众所周知音频信号是模拟信号，经过ADC处理变成从0到255这一区间的数值。这些数值随着音乐内容起伏变动，把这些变动的数值按时间顺序连接起来就形成了音频曲线。LED点亮的多少，就是由ADC转换后的数值决定的。当ADC输出的数值是0时，表示输入端没有声音（或者音量太少而采集不到），当ADC输出数值在255时，则表示此时为最大音量，数值在0到255之间变化，LED也随之从没有LED点亮到11个LED全部点亮，这就是音量的显示原理了。

一般的音乐之所以动听，其中一个原因是合声。你会同时听到吉他、鼓、钢琴和张学友的歌声。是呀，听音乐是轻松的，而要把音乐中复杂的音频频率分开却并不容易。这需要对音频波形有一定的认识，并且找出它们的频率特性。人耳可以听到的频率是20Hz～20kHz，而我所采集的音频是在100Hz～16kHz，略去了重低音和高音的部分，然后再将这一区间的频率分成3段，它们之间也存在交叉的部分，这样做的目标是让显示效果看起来更好。分频的实现是用程序在输入的音频中实时检测，分析某一段时间内音频波形，测量两个相同波形之间的距离，这一距离也就是这一个波形的频率了。但是音频波形不像规则的正弦波，如果是正弦波只测量一个单纯的波长就行了，音频信号是许多波形的叠加，在分频时需要一些有技巧的算法来处理它们，这一点我们以后再来详谈。

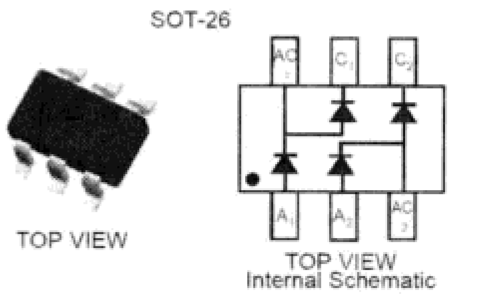
自动增益控制是很实用的功能，当你调节电脑或MP3的音量时，DIS.MUSIC3还可以保持良好的显示状态，不会因为音量变小而始终达不到满格显示。自动增益其实就是控制音量，前面说过音量在ADC转换后的数值是从0到255，最小的音量是0，最大音量并非是255，即使你把电脑或MP3的音量调到最大，也仅能让ADC转换数值达到180左右。当你调小音量，这新的音量范围中的最大值就可能变成120了。程序需要做的就是判断某一时间内最大的音量值是多少，然后把它定为音量的上限，11个LED就是将从0到最大音量值之间的音频变化11等分。自动增益程序实时判断最大音量值，如果连续2s仍然没有较高的音量出现，那么程序就会重新定位最大音量值了。

Maxim推出用于汽车TV系统的通用调谐器MAX2135

Maxim 发布一款新的调谐器芯片MAX2135，用于ISDB-T和DVB-T汽车系统的通用调谐。该器件集成2路高性能信号通道，工作于单个分数N合成器。MAX2135采用小尺寸7mm x 7mm、TQFN封装，能够提供比使用2个分立的调谐器IC更为紧凑的方案。此外，器件具有极低的3.8dB (典型值) UHF噪声系数，两个信号通道都工作时功耗仅为330mW，一个通道工作时功耗仅为200mW。MAX2135集小尺寸封装、低功耗和低噪声特性于一体，可理想地应用于车载导航和娱乐系统。

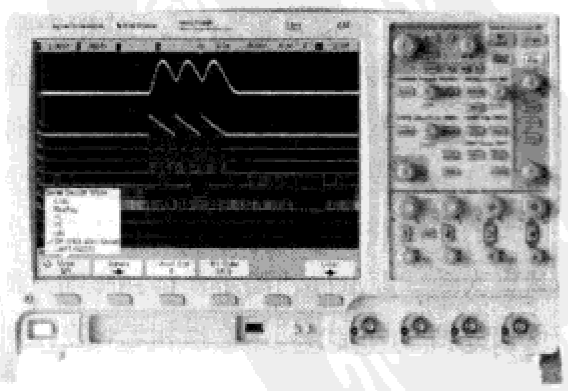
Diodes推出高压二极管阵列MMBD5004BRM

Diode公司推出四开关二极管阵列MMBD5004BRM，其击穿电压为400V。该二极管阵列结合了更快的开关速度和低结电容，能工作在225mA的连续高额定电流和625mA的峰值电流。其高击穿电压能承受DAA调制解调器正极和负极电话线接口和一般离线整流应用中最坏的线瞬变情况。

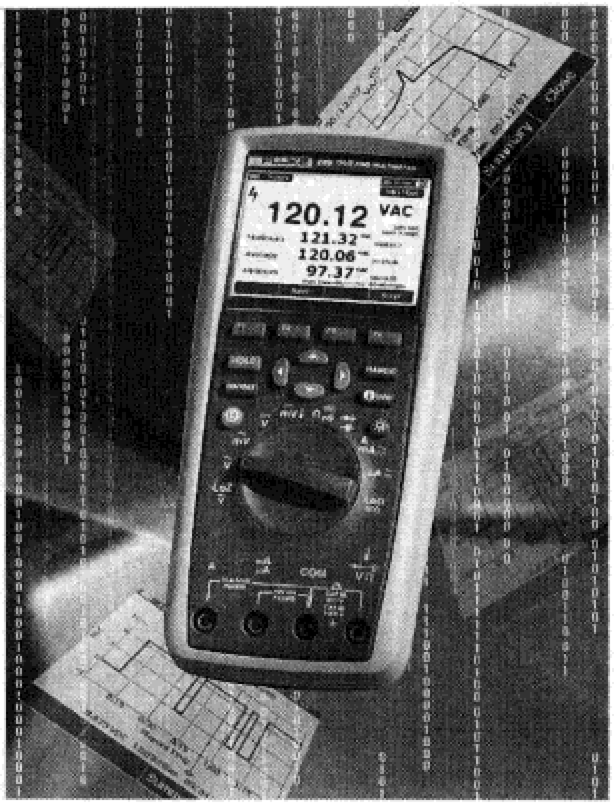


安捷伦推出InfiniiVision 7000示波器

安捷伦科技公司宣布推出 14 款最新型号的 InfiniiVision 7000 系列示波器。这些新型示波器提供 100 MHz ~1 GHz的带宽范围。除了能捕捉传统的模拟信号，还新增了数字信号捕获、串行总线触发与解码功能。它们还能够执行硬件加速操作，每秒能在12.1英寸屏幕上显示高达100 000个波形。



万用表是电子爱好者最常用的测量仪器之一，是一种集成多种常用电学测量功能的仪器，常见的万用表具备电压、电流、电阻三大基础测试项目。现在不少万用表都向智能化和多功能化方向发展,所以很多数字化产品都具备自动量程选择和诸如测量电容、电感、频率、占空比、温度、三极管放大倍数等扩展功能。一般中低端的万用表技术已经非常普及，一些小作坊都能生产出各种多功能数字万用表，而且价格非常低廉。市场上一台万用表的价格从几元到几千元都有，那么我们该如何选择符合自己应用需要的万用表?



万用表选购指南

◎杨法（BD4AAF）

选购万用表应该从产品的性能、品牌、外观、售后服务、价格等几个方面综合考虑。

万用表的性能

万用表的性能主要包括测量精度、扩展功能、可靠性、耐用性、产品安全特性这5个方面。

万用表的精度包括两个方面：一个是测量的准确度，即通常所说的“误差”；另一个是测量的分辨率，就是通常所说的“万用表的位数”。万用表的测量分辨率与测量准确度没有必然的关系。虽然通常说，测量分辨率高的产品档次比较高，测量准确度也做得比较好，但并不是绝对如此。

有的厂家投机取巧，产品看上去显示的位数较多，功能也比较多，但限于成本和技术，无法很好地控制准确度和稳定性，一台三位半的万用表测量准确度要比一台看起来具有四位半显示的产品好是完全有可能的。万用表的分辨率是要以准确度为基础的，否则高位数的显示是没有测量意义的。在高要求的测量中，对万用表的测量准确度是有相当要求的，万用表的测量准确度是衡量产品档次的主要指标之一。

一台万用表的测量准确度会随着使用时间的推移慢慢劣化，这也是仪器需要定期计量校准的主要原因。高可靠性的万用表使用周期长，抗外界恶劣环境性能强。导致万用表误差变大的原因有内在的和外在的：外在原因是使用环境和使用频率次数，高低温、高湿度都会影响元器件的特性，随着使用次数和时间的增加，磨损和老化在所难免，内在因素是产品的品质，从线路设计制作到元器件的选用和制造工艺。同样作用的元器件，有价格昂贵但温度系数小、性能优异、经久耐用的产品，也有价格低廉但性能平平的产品，使用何等档次的元器件直接关系到产品的成本，不同品牌的厂家是有不同考虑的。

走高端路线的品牌，本着优质优价的原则选择高稳定性元件和设计，确保了产品的可靠性耐用性，虽然价格高些，但产品性能稳定，寿命长，返修率低。走“拼价格”路线的品牌严格控制成本，甚至不惜缩水，这样的产品虽然价格便宜，使用初期可能还不容易发现问题，但随着使用时间的延长，问题就会慢慢暴露出来。好在大部分低端用户对万用表的准确度并不敏感，也没有计量的手段，一般测测干电池显示1.5xxV，测测市电显示22xV就行了，所以有不少用户说自己的便宜万用表质量还行，用了多年还没坏，其实很多产品真的拿去计量，早已不在“状态”了。

万用表的耐用性与产品的设计和品质密切相关，耐用的产品在设计时就考虑到万用表可能面临恶劣的使用环境，包括风吹雨淋以及意外的跌落和碰撞。高强度的外壳材料和抗冲击设计以及高密封性是提高产品耐用性的基础。内部高品质的器件可以延缓长期使用的磨损，有些高品质万用表的拨盘采用优质金属，触点都做加厚镀金处理，这样可以起到抗氧化耐磨的效果。有些10多年前产的名牌万用表在二手市场经过多次转手，甚至被从洋垃圾中挑拣出来，依然可以正常使用，足见其耐用性。

很多用户一说到万用表性能，往往专注产品的精度，其实产品的安全性更为重要，它与使用者的人身安全息息相

关。误操作很难绝对避免，在超负荷或错误设定工作状态下，万用表能否保证最大限度地不使用户受到人身伤害以及保持仪表自身的安全，这就与产品的安全特性设计有关。多一份设计余量，就多一份成本，但也更多一份安全，严格执行安全标准是对生命的负责。

高端万用表往往采用昂贵的保险丝，如Fluke高端系列的一颗保险丝的价格都在60元以上，一颗保险丝的价格完全可以买一两台便宜的万用表。高性能、高响应速度的保险丝能更灵敏、快速地隔断过载的意外，将仪器因为严重过载而发生爆炸、融化等事故的可能性降到最低，同时保险丝管自身内阻极低，可以将对串入电路后造成的影响控制在最小。

扩展功能是现代数字万用表多功能化的表现。除了传统的电压、电流、电阻的基本测量外，常见的扩展测量功能还有通断测量、二极管测量、三极管测量、电容量测量、温度测量、频率测量、占空比测量，最大值保持、模拟指针快速响应显示、内置抗干扰低通滤波器、PC 通信接口、误操作保护。扩展测量功能有时可以替代一些专项仪表，拓展万用表的应用范围，达到一表多用，还可以提高工作效率和自动化率。

万用表的品牌

品牌是万用表品质的保证，同时也是产品档次的体现。一个著名的品牌是经过多年市场的积淀，也是厂家对用户的承诺。一些国际著名品牌的低端万用表虽然在大众用户关注的测量精度和扩展功能上并不出彩，但在产品可靠性、稳定性、安全特性等不常为用户重视的内在品质上做得比较扎实，一丝不苟。用户用久了才能慢慢体会出高品质产品的含义。很多用户都喜欢通过比较参数来对比产品的性能，著名大品牌提供的产品参数的真实性更有保障。

只关注数字表显示的位数来选购万用表是不科学的。

俗话说“隔行如隔山”，在工业发达的时代，行业的划分越来越精细，涉及的技术也越来越专业、越狭窄。同属电子行业，电器维修的高手一般不会精通仪器仪表专业技术，大多停留在仪器应用的阶段，所以大部分万用表使用者并不会像万用表制造行业的业内人员那样对产品有深入了解，没有必要为买一块万用表而先成为万用表专家，这也是不现实的。普通的基础知识加上品牌保证就是选购的捷径，因为厂家已经从专业的角度为不同等级的应用设计好了不同档次的系列产品。对于品牌的信任在电子行业是广泛被接受的，当你拿出一块高档名牌万用表，懂行的人自然会对你的测试结果增添几分信任，同时也更认可你的专业程度。

万用表的外观设计

外观设计关系到万用表的耐用性、抗毁性以及使用操作的舒适程度。外包保护圈（套）的设计可以大大降低万用表跌落的损毁率，同时也增加了把持性。万用表的背后支架设计、带磁性外套设计、液晶屏背光设计、大字体高对比度液晶屏、显示屏无线分离，台式表使用VFD屏等都会使产品用起来更得心应手。对于经常需要带出去作为现场检测的万用表，具备橡胶保护圈设计的产品不容易意外损坏。对于“眼神不济”的用户，大字体显示的万用表读数更为容易。对于经常在低光照环境中工作的用户，带背光照明甚至OLED显示的万用表会大大方便读数。

万用表的售后服务

万用表的售后服务主要针对中高档的产品。当然对于廉价万用表，有时维修的经济意义不大，来回送修的交通费都比再买一块新表来得高。万用表发生故障在所难免，包括自然故障和误操作，以及跌落冲击导致的故障，中高档万用表价格比较高，发生故障后首先想到的就是维修。充足的备件、雄厚的维修能力、尽量短的维修周期是用户所最乐于看到的。通常维修的价格要低于重新购置一块新的万用表，有助于节省添置仪器成本。万用表的售后服务除了维修主要还有校准服务，中高档万用表较多的应用于对测量准确度较高的领域，很多万用表都需要经过国家计量认证。随着万用表使用年限的增加，误差逐渐变大，这时就需要通过专业校准来重新提高万用表的测量准确度，减小误差。这种校准对于目前主流的数字万用表而言，往往只需要配合专用仪器，对机内的数据进行软件调校，经过校准的万用表完全可以达到新品出厂的性能，而校准的费用远远低于购置新表的费用。通过专业的校准可以大大提高万用表的使用期限，从而降低仪器使用成本。高端的售后服务除了维修和校准外，还包括技术支持等高级服务。

指针万用表的选购

高品质的指针万用表应该具备优质的机械表头、灵活耐用的挡位拨盘、稳定的系统精度、电压挡高内阻、完备的保护机构、坚固耐用的外壳。优质的指针表头具有良好的响应速度，同时具有适当的阻尼特性，有的高档表盘上还安装有反光镜条，减小读出误差。一般大面积的表盘更容易读数，但对于小型的便携型万用表，也要考虑产品的整体体积。国产指针万用表主流应用级产品的直流精度为2.5级，也有少量科研级的产品达到1.5级和1.0级，更高等级的指针表大多是单项功能单量程的专用表了，实际一般应用2.5级的表已经足够了。

在数字万用表的时代，高精度测量已经是数字表的天

下，高档指针表的实用意义日趋没落。有些用户认为，早期出品的万用表大量使用高精度线绕电阻，拆开后盖内部满满当当的，而近年出品的万用表则多用市面上常见的色环电阻，拆开后盖内部空空落落的，因此品质下降，新产品没有老货好，其实并不尽然。早期万用表使用线绕电阻，是因为当时碳膜电阻的精度不够好，用传统线绕的方式更容易得到阻值误差小的电阻。时过境迁，现在的色环电阻（碳膜电阻和金属氧化膜电阻）的精度大大提高，加上二次筛选，很容易得到符合误差要求的电阻，而且色环电阻的价格要比线绕电阻便宜得多，所以大量使用色环电阻是必然的趋势。外观看似差不多的色环电阻其实也有档次之分，包括精度等级和稳定性等级，只要产品统调得当，一样可以制造出符合技术规范的万用表。

国产指针万用表中有特色的高端产品主要有：直流精度达1.0级的MF35型和MF18型，直流精度达到1.5级的MF12型和MF14型，具备10μA测试挡和直流内阻达100kΩ/V的高灵敏度MF10型。这些万用表代表着我国指针表曾经的最高水平，有一定的收藏价值，尤其是一些老年份的名厂表。

不过这些高端表现在的使用价值已经不高了，这是因为这些过去被认为高精度的指针表，现在的测量准确性还是不能和现在高档数字表相比的。对测量准确度要求很高的用户现在应该直接用高端的台式高精度数字表，这些过去的高档表体积大、重量重，作为普通维修使用不方便，而且价格也比较贵。从实用的角度，笔者推荐MF47型和MF500型表，这些表的直流精度为主流的2.5级，具有很好的性价比，尤其是MF47型表，体积适中，单拨盘操作，实用性强，便携/固定使用两相宜。MF500型则是经典老款型号，很多以前技术图纸上的数据都是用MF500型表测得的，MF500双拨盘的特殊操作方式是很多老工程师所怀念的。此外，优质的MF30、MF50表也不错。

相同型号的国产万用表往往有很多厂家在生产，所以可能外型类似，但品质和价格截然不同。以MF500万用表为例，上海第四电表厂的产品可以卖到近百元价位，而一些便宜的只要30元左右。国产指针万用表品牌方面，上海第四电表厂的“星牌”在业内非常有名，其很多老型号产品在廉价潮的冲击下依然保持当年的优秀品质，上海第四电表厂也是为数不多生产MF35等高端指针表的厂家。南京电表厂的MF47表市场上口碑不错，并且根据市场需求开发了MF47系列产品，在保持基本性能的基础上，做出了不同配置、不同价格的产品，满足不同层次用户的需要。进口品牌的指针表主要有高端的德国GMC表和中档的日本SANWA三和表、日本Kaise凯世表、日本KYORITSU公立表，不过市场上假冒和仿制SANWA的很多。

数字万用表的选购

数字万用表是当前市场上的主流，按需选购，注重产品的品质才是明智的选择。一般用户不必过分注重产品的分辨率（显示位数），对于即使像家电维修这一类的应用，其实最普通的三位半数字表就足够用了，高分辨率的测试绝大多数情况下并没有实质性的帮助。对于大部分用户来说，万用表实用、够用就好，不一定要买高价、高档的产品。名牌是品质的保证，一般产品线中的中档产品具有最高的性价比。高端产品虽然性能优良，但除了初期购置费用高昂外，后期使用费用也会比较高。

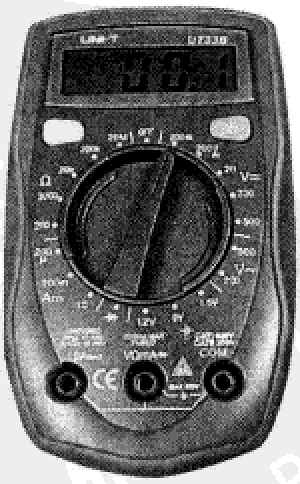
首先，高性能产品耗电都会比较多，电池开销会比较大。其次，使用的耗材（如保险丝之类的）费用比较高，如FLUKE高端万用表的一个保险丝都超过60元，一次误操作带来的损失会明显加大。再次，后期的维修费用也与万用表的档次有关，高档万用表的维修费用很高。

对于一些与高压、大电流打交道的用户，万用表的安全性比测量精度更重要。一般高精度的万用表适用于科研级和研发级的应用，尤其是台式万用表更适合实验室使用，真正使用七位半以上超高精度的万用表，需要有严格的规范，包括适当的温度和湿度，并需要定期计量校准，如果像普通万用表那样随便放置，开机就用，早就失去了实际使用意义。

从测量技术上分，数字万用表的交流有效值测量方法有两种：平均整流原理和真有效值原理。前一种方法成本比较低，主要适应正弦波的测量，遇到方波，读数就会偏大。后一种方法虽然实现相对复杂，但对各种波形的测量比较准确，绝大部分中高档万用表都采用真有效值测量方式。采用真有效值测量方式的万用表都会在表上标上“Ture-RMS”字样，这已经成为数字万用表档次的一种标志。

万用表的测量性能除了测量准确度和测量分辨率外，还有一个很关键的指标响应速度，即开始测量到稳定读数的时间，这也反映出万用表处理器对数据的处理能力，高档数字表都具有非常快的响应速度。需要注意的是，这与万用表屏幕刷新的速度并没有直接的关系。有的用户抱怨自己的数字万用表测量速度慢，就与这个指标有关。有很多中低档万用表在参数表中都回避这个问题。

对于普通家庭用户，测量精度基本没有什么要求，可以考虑价廉物美的产品，如优利德30元左右的UT33 B，只要正规厂家的产



UT33 B

品即可不用花费太多，放在工具箱里以备不时之需。

对于初级电子爱好者，可以选择国内名牌、精度不一定很高的入门级多功能产品，如华仪MS8264或优利德UT60A，价格不高，但功能齐全，有电容、三极管的测量等扩展功能，可以免除购买专用仪器的费用，保护功能也比较齐全，可以防止误操作对仪器的损毁。

对于专业生产线或者电子小厂的用户，因为连续开机，工作时间比较长，所以需要耐用、省电、实惠的万用表，国内名牌有良好的售后保障，入门级产品功能不多，但结实耐用的型号是这类用户理想的选择，如胜利VC890D。

对于教学用万用表，一般批量比较大，大部分用户常关心的结实耐用、耗材易损件价格低廉，对测量精度一般没有特别的要求，只要求操作典型、直观由于是基础教学需要，所以一般不选自动化程度很高的产品，如优利德的UT39A就比较适合。

对于发烧级的电子爱好者，他们希望用的万用表有点档次，但价钱又不太高，那么国产一线品牌的中高档产品是不错的选择，如优利德UT70B，具备自动量程切换和模拟快速指示条。

对于特定行业用户，一些有针对性设计的名牌产品在价格和性能上有较好的平衡，如Fluke F11x系列，同时一些专门的设计可以大大提高工作效率和提高测量的准确性。

对于应用于电力和工业上经常与高压大电流打交道的用户，万用表的安全特性更为重要，名牌的中高档产品，如Fluke 87V，在安全性方面会更有保障。

对于专业电子工程师，一块名牌高端的万用表，如Fluke 287/289，就像男人的腕表一样，更能在同行间体现出“专业”的身份。尽管有时万用表的高端性能并不那么重要，但高性能产品使用起来绝对有不一样的感受，也可以解决很多复杂的测量问题。

手持数字万用表品牌的进口高端品牌有Fluke 、Agilent、GMC，国产一线品牌有华仪、优利得、胜利。台式数字万用表方面，进口高端品牌有Agilent、KEITHLEY、Thurlby、Fluke，国产一线品牌有固纬、普源、华仪、优利得、胜利。

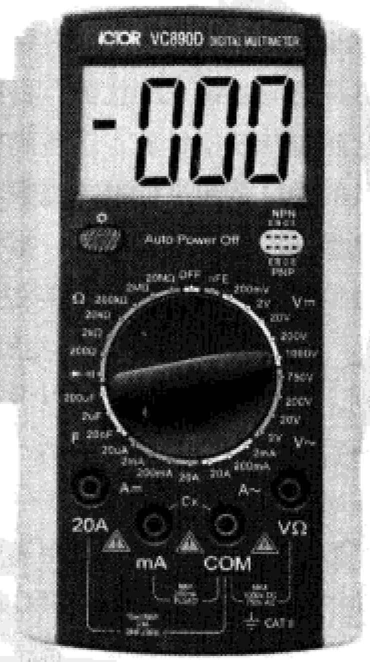
市场上，一些进口的中高端的万用表报价相差很大，用户选购时需要注意的是，有些低价货可能不是正货渠道，对于灰色渠道的万用表，虽然也是原厂正品，但在官方售后维修中可能会遇到一些问题。

指针表VS数字表

早期的万用表都是机械指针表，不过近20年来，数字表技术的发展正在全面取代传统指针表的地位。记得早期数字电压表刚出现时，即便是3位半的水平，也被看成高精度的

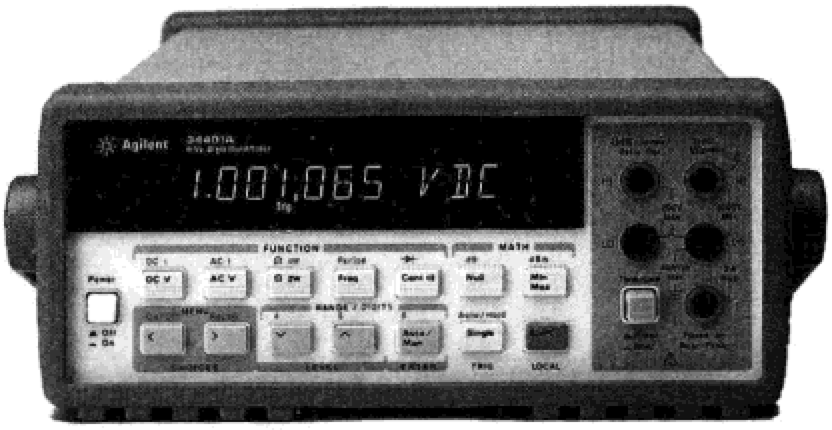
Fluke 289

华仪MS8264



胜利VC890D

Fluke 87V



安捷伦34401A

笔形数字万用表

测量仪器，数字表直接数字字符显示，没有表盘读数误差，这是它与生俱来的优势。目前高档数字万用表的性能已经完全超越传统指针表，很多高档产品可以通过数字化模拟指针表的图形显示来弥补单纯数字显示无法显示的动态数据（如测量脉冲信号）等问题。指针表目前只有在响应速度和抗高频信号干扰方面相比低端数字表才保留一定的优势。

在销售价格方面，指针表和数字表已经没有明显的差别。数字万用表已经可以做得相当便宜，相反，传统工艺的指针万用表要做得好的话，成本很高。国产指针表中，最好的MF35的市场价格依然在600元以上，这个价钱要是买国产数字表，可以买到相当高端的产品。作为实用级的产品优质的MF47型指针表也在50元左右，同价位上，有很多国内一线品牌的实用数字表可选。所以目前选用指针表还是数字表，主要看个人习惯，如果作为入门用户或者非专业用户，数字表具有读数方便、操作简单的优点，稍微上点档次的数字表就具备自动量程选择功能，操作更为“傻瓜化”。

手持表 *VS* 台式表

在常见的数字万用表中，手持式表和台式表是最主要的两种形式。

台式表一般主打高分辨率、高精度、高稳定性、高读数速度等特点，同时可以提供较强的数据输出功能。常见的台式万用表分辨率从4位半到8位半都有。台式表一般用外部交流电供电，不需要过分考虑节电的问题，同时台式表体积也可以做得比较大，可以使用一些高性能电路和大体积、高精度的元器件。

在显示屏方面，台式表也可以使用耗电高一些但显示效果比普通液晶更好的VFD屏幕。台式表分辨率高，准确性、稳定性好，但移动相对不便，大多适合应用于科研和计量领域的实验室固定使用。另外作为高精度仪表，其在价格上远高于一般的手持式万用表。前面已经说过，对于不同等级的应用，不是万用表所能显示的位数越多一定越好，只要够用就行，所以台式表和手持表是应用于不同范围的仪器，一般电子维修和家用级用户没有选用高精度台式万用表的必要。

如果一个专业电器维修人员撇开仪器价格不考虑，选择一台安捷伦 34401A 台式 6 位半的万用表和一台 FLUKE 低端的 15B，对于维修电器来说，绝对是 FLUKE 15B 更方便实用。台式表的高分辨率在家电维修中体现不出它的优势，反而由于机身移动不便，成为较大的麻烦。当然，如果在实验室里，Agilent 34401A 的性能胜出 FLUKE 15B 远不在一个等级上。

所以，总的来说，手持表方便、灵活，适合一般测量，台式表适合高精度测量和专业应用。

此外，有些台式表具备4线制电阻测量模式，这对精确测量精密低值电阻很有用，可以减少表笔导线内阻引入的误差。4线制电阻测量模式在一般手持表上是没有的。

笔形数字万用表是一种特殊外观的数字万用表，它将一个表笔端固定在主机身上，另一表笔则采用传统方式用导线引出，用户操作时把主机像普通表棒一样使用，为了方便，

优利德UT-81B

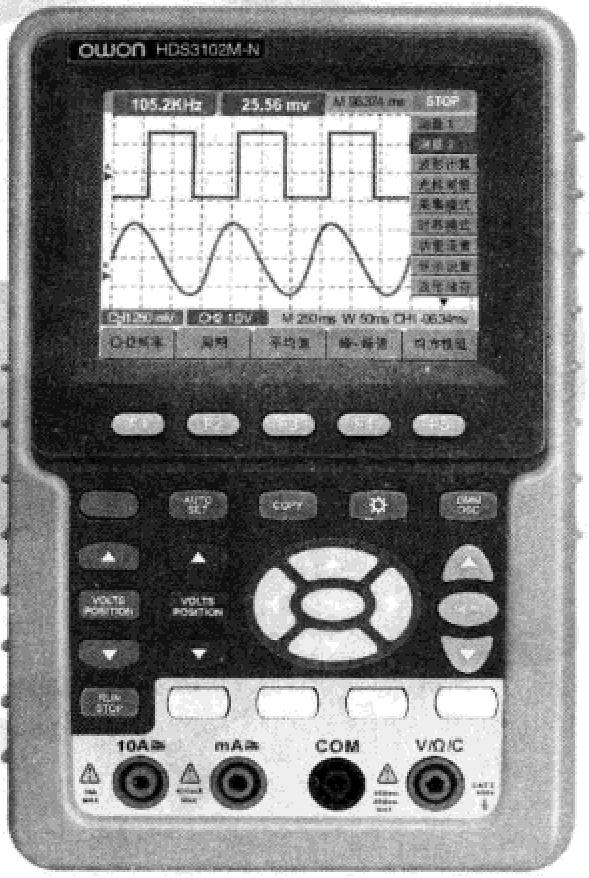
FLUKE 15B

用于把握的主机一般都做成长条状，类似一支笔的外形。从技术原理上看，笔形万用表与常规盒式数字万用表是基本一样的，只是换了一种外形而已。笔形万用表大多主打电压测试和电阻测试，很多产品不具备电流测试功能，其实电压和电阻测量是一般用户用得最多的功能。笔形万用表的优点是体积小巧，特别适合外出携带，由于使用时直接手握笔形万用表的机身作为正极表棒使用，所以就没有传统盒式万用表主机需要专门有放置地方的问题，同时主机上的显示屏就握在手中，离测试点非常近，读数也非常方便。很多做现场检测和维修的用户用惯了笔形万用表都会喜欢上它。笔形万用表的一般外观都为小巧设计，采用小型电源，不少还使用纽扣电池，所以线路都采用超省电设计。笔形万用表配置的液晶显示屏一般都没有盒式万用表的大，显示的内容也比较单一。笔形万用表属于微型万用表的行列，通常不做成高精度表，但用于现场检测和维修是绰绰有余的。

作为一种特殊形式的万用表，很多万用表制造大厂都不太注重这类产品，国外主要是一些擅长做微型万用表的厂商在做，在国内比较容易买到的进口品牌有HIOKI(日本)、KYORITSU(日本)、Kaise(日本)，国产著名品牌则有华仪。

万用表新成员——示波表

具有显示波形功能的万用表称为示波表，简单地可以理解为具备数字示波器基本特性的数字万用表。示波表一般都采用大面积点阵液晶屏幕，具有多种灵活的显示方式，具备



OWON HDS3102M-N

Fluke 199C

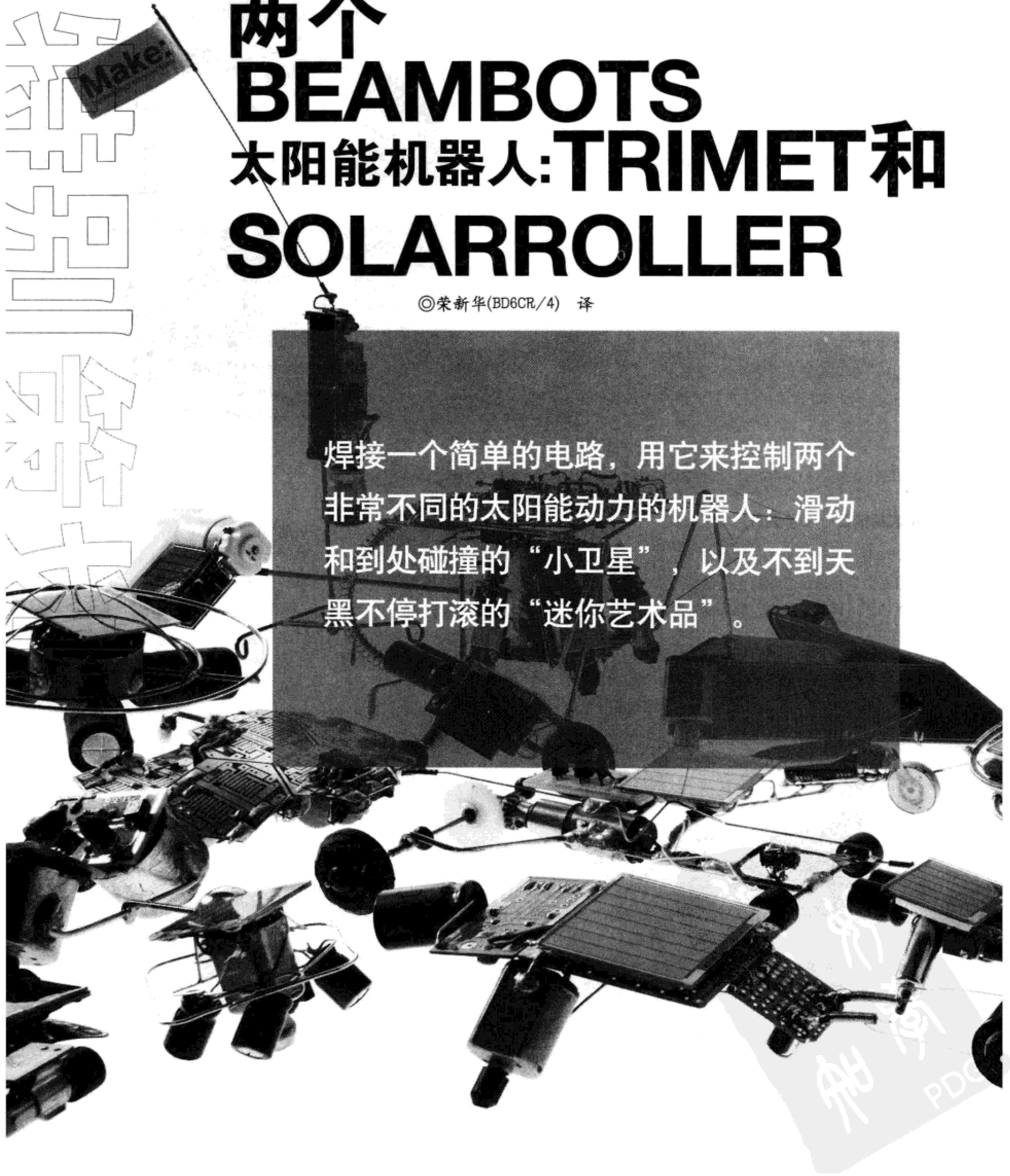
波形显示功能增加了万用表的功能，当然这与产品的测量准确度和档次没有直接的关系。波形显示功能可以使万用表像示波器一样看到交流的波形，当然也可以用来测量幅度（电压）和周期（频率）参数，对交流信号来说是增加了测量的内容。一般常用的万用表对交流信号的测量是弱项，尤其是对频率较高的交流信号，一般的数字万用表只能测量100kHz左右的交流信号，即便是高端的F189，也只能测试到1MHz的交流信号。集成的示波器功能往往使示波表具有对较高频率交流信号的测量能力，常见的入门级示波表常都具备5~25MHz的带宽。

体积上，示波表类似高端万用表的大小，比便携示波器要小得多，也要轻得多，携带非常方便。大部分入门级的示波表虽然具备示波器的基本功能，但其性能和功能并不能完全替代真正高性能示波器的作用，并不一定具备精密测量复杂波形和微小信号的能力。高端的诸如FLUKE的99B、199之类的示波器，性能不错，但严格地说，属于手持示波器的行列，价格上也比同级别的台式示波器还要贵。

示波表对常用的直流电压的测量和电阻的测量波形显示功能基本没有用武之地。总的来说，如果你手头没有示波器，又需要看到交流信号的大致波形（频率不能太高）且要求不高，那么示波表是不错的新选择，示波表会对交流信号的简易测量带来新概念。对于高要求的用户，高性能的传统数字万用表＋便携型示波器是更好的选择。

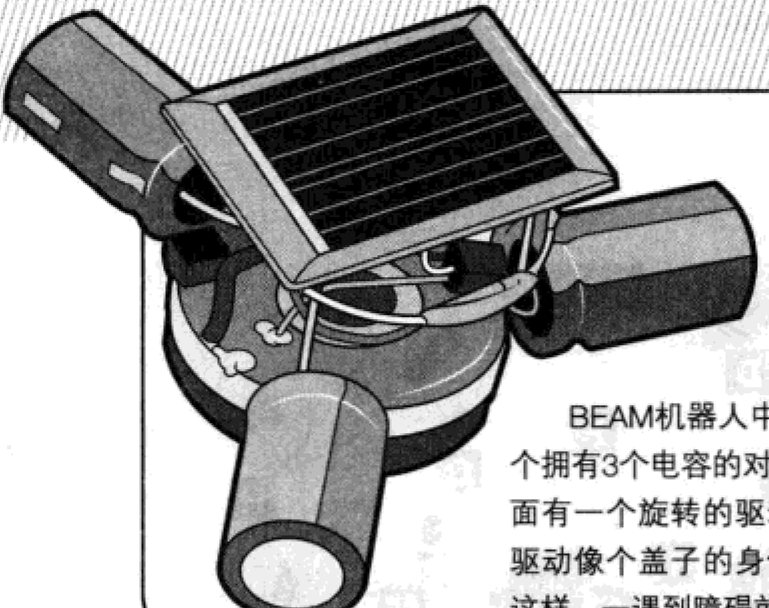
两个BEAMBOTS太阳能机器人:TRIMET和SOLARROLLER

◎荣新华(BD6CR/4) 译



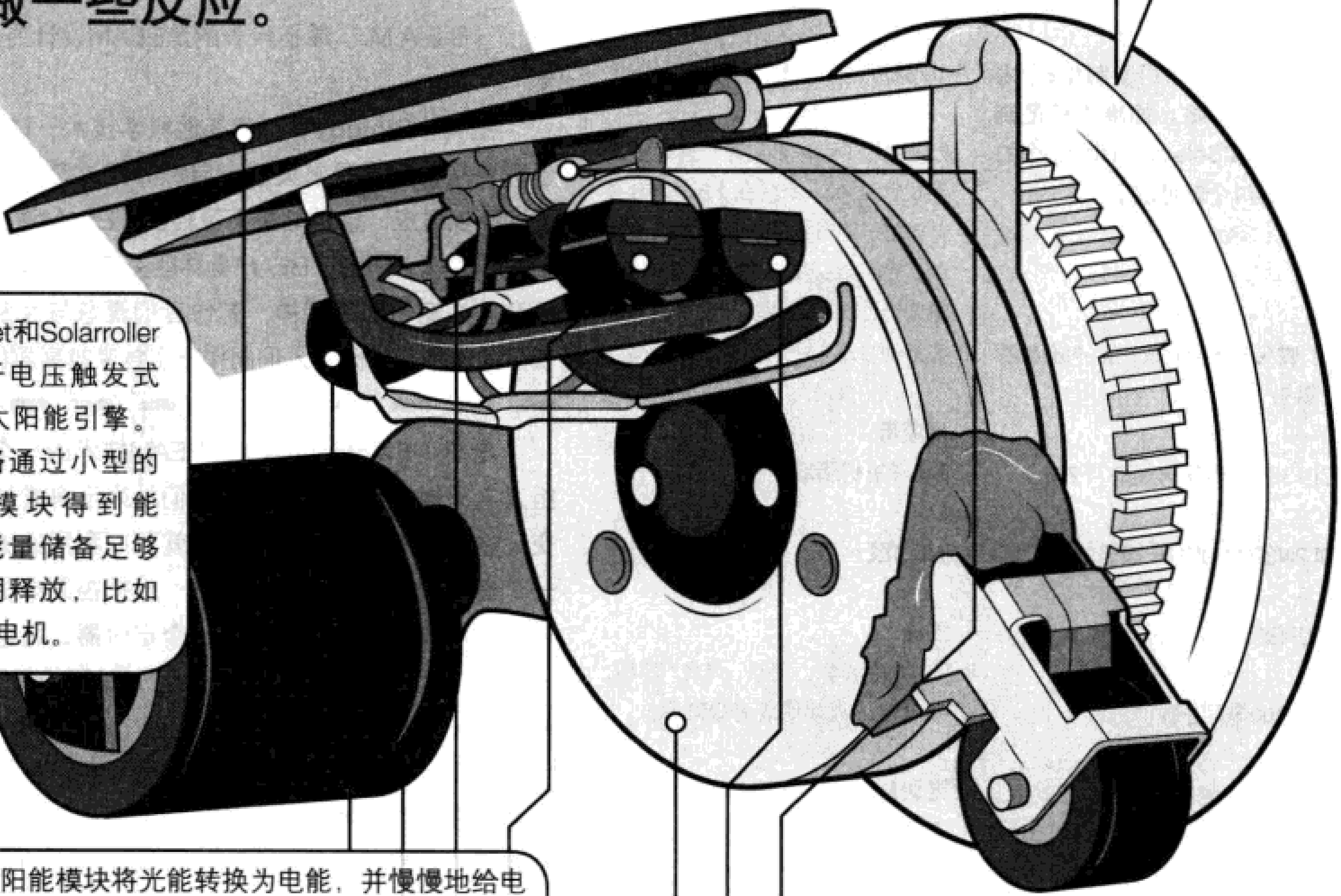
焊接一个简单的电路，用它来控制两个非常不同的太阳能动力的机器人：滑动和到处碰撞的“小卫星”，以及不到天黑不停打滚的“迷你艺术品”。

BEAM机器人用的是非常简单的电路，直接和外围环境打交道。这个和通常的控制类机器人不一样，它们没有智能，只能做一些反应。



BEAM机器人中，Trimet是一个拥有3个电容的对称机器人。里面有一个旋转的驱动轴，会一直驱动像个盖子的身体进行运动，这样。一遇到障碍就会反弹。

Solarroller就是小型的太阳能赛车。在BEAM机器人比赛和其他的机器人比赛中，最后上演的总是Solarroller。



Trimet和Solarroller都是基于电压触发式（I型）太阳能引擎。这些电路通过小型的太阳能模块得到能量，当能量储备足够就会定期释放，比如用于驱动电机。

太阳能模块将光能转换为电能，并慢慢地给电容充电。

电容存储能量形成一个电压，当两个引脚间的电路接通时将能量释放出来。

1381电压触发器会测量电容的电压，当高于一定阈值后会发出触发信号（如1381-G触发器高于2.4V就会发出信号）。

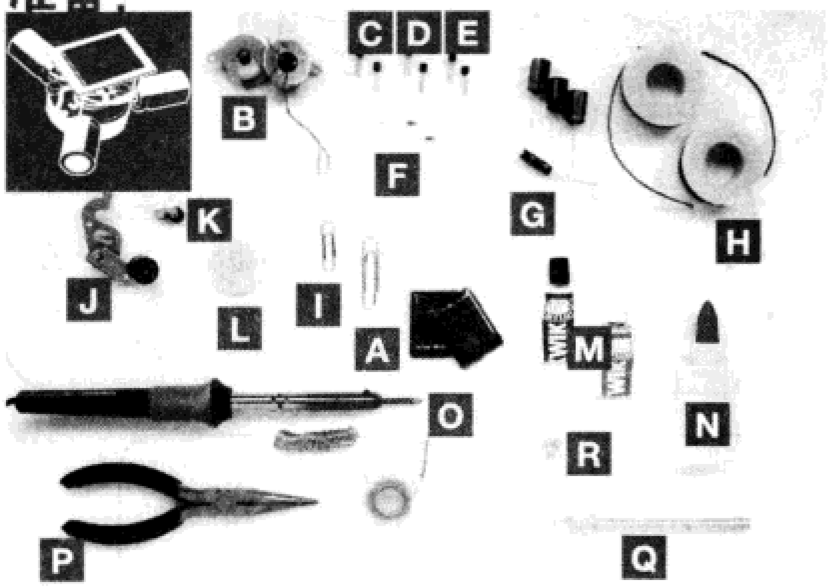
当三极管3904的基极收到触发信号后，三极管就会导通，使得电容通过电机放电。

电机收到电容过来的能量就会工作，因此会断续工作。

放电过程中，电流会回流到三极管3906的基极。这样会使得1381触发器断开并复位。电流还会一直流向3904的基极，这样就能保持电机工作，直至电容完全放电完毕。

2.2kΩ的电阻用于拉低3906的基极电压，这样，放电过程中绝大部分的能量会被电机消耗，整个电路的效率得到了提高。

准备：



材料：

下面的材料用于制作2个太阳能引擎电路。如果你只是制作Trimet和Solarroller中的1个的话，每样1个就可以了。

[A] 37×33mm的多晶太阳能模块2个

[B] 磁带电机两个，旧的随身听上就有

[C] 1381-G电压触发芯片2个

[D] 2N3904 NPN三极管2个

[E] 2N3906 PNP三极管2个

[F] 2.2kΩ电阻2个

[G] 4700μF电容4个，也可以用3个4700μF电容和1个超级电容，比如0.33F的黄金电容。Trimet需要3个4700μF电容。高品质的Solarroller可以使用黄金电容。

[H] 24号的红黑连接线

[I] 曲别针2个，一大一小

以下部件仅用于Solarroller

[J] 夹送辊与夹送臂，可以从老式录像机中拆。辊圈光滑，直径大约5/8英寸，宽约5/8英寸

[K] 夹送辊与夹送臂，可以从磁带机中拆。辊圈光滑，直径大约1/2英寸，宽约1/4英寸。

[L] 轻便材料的驱动轮，直径要比电机盒稍大。直径在1.5～1.6英寸就好。老式的录像机可能有合适的，也可以试试控制伺服电机棍子的圆盘，也可以用玩具中的圆盘或者其他合适大小的塑料圆盘。

橡胶带

[M] 环氧树脂胶

[N] 白胶

工具

[O] 焊接装备。烙铁，焊台，焊锡，吸焊枪、吸焊球或者吸焊带。

带切割砂轮和刨槽头子的Dremel工具。

"Third Hand"弹簧夹，最好2个。

[P] 尖嘴钳

剪线器

[Q] 手工刀

中等颗粒的砂纸或铁锉

尺子

[R] 大头针或胶带

安全眼镜

BEAM机器人技术门槛低，基于模拟技术，材料来源简单，也易于修改。现在发展成包括了对称机器人、滚动机器人、步行机器人、跳跃机器人、攀爬机器人、游泳机器人、飞行机器人和爬行机器人等类别的大家庭。这些机器人中，很多都可以用一个简单通用的BEAM电路来驱动和控制。这块电路可以从太阳能板中获取能量，并暂存于电容中以提供能量。

我们这里会制作一些电压触发的太阳能引擎电路，然后做成两个小机器人。一个是Trimet，靠着旋转行进，看起来像是太空轨道中的卫星。另一个是Solarroller，它会时断时续地直接向前开。这些小东西放在桌上非常“酷”，当然你要保证他们不摔下桌子。

“B.E.A.M.”最初代表的是BEAM设计方法的4个基本要素：

生物（Biology）：与其他科学技术一样，BEAM的设计也需要从自然界寻求灵感。自然界经过几十亿年的设计、构架和环境适应，这种能量不可轻视。BEAM激励了人们在机器人领域的深入研究。BEAM奥林匹克竞赛每年举办一届，秉着分享与拓宽思路的精神，制作者们愿意与大家一起分享他们获奖的作品。因此，人们制作出了越来越高端的机器人。

电子（Electronics）：BEAM技术的一个特点就是灵活组建电子器件。用其他设计者们从来没有尝试过的方式，改变元件的原有用途。这样我们就可以利用家庭电器的芯片做一个音频放大器直接传输数据，或把控制电机的信号反相连接，然后放置传感器，就像一个定时器。将这些电路连接在一起，你就拥有了一个不用需要经过编程的机器人大脑。

美观（Aesthetics）：巴克明斯特·福莱曾经说：“当我在做具体工作的时候，并不会考虑美观，只想着如何去解决问题。但当我完成时会发现，如果做出的作品并不美观，我也会认为设计并不成功。”蒂尔登和一些资深的BEAM设计人员都知道，设计精制的机器人可以吸引更多的爱好者们投入其中。很多人都努力让他们的作品变得更漂亮美观，因为在他们眼里，他们的机器人就是一件能运动的雕塑艺术品。

机械（Mechanics）：与 BEAM的电子设计一样，为了提高效率，它的机械设计和制作技术同样高明。例如大多数BEAM机器人制作时会使用洞洞板，而不用印制电路板，因为这种自由组合的形式，能使相邻的元件焊接得更加紧密。这样既大大节省开支、减轻重量，又能也显示制作者的创造力和焊接技术。

制作过程

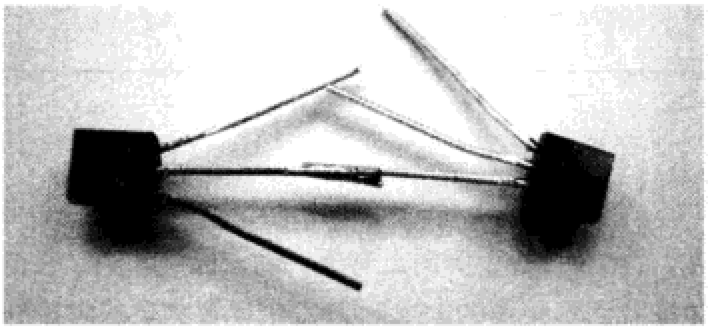
制作我们的BEAMBOTS太阳能机器人

开始>> **时间：一天** **复杂度：中低**

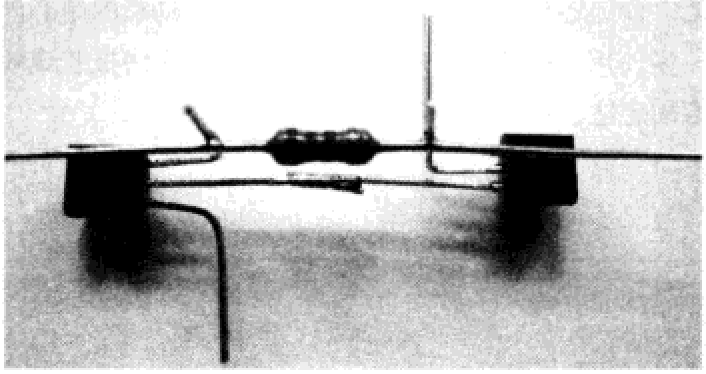
1. 制作太阳能引擎控制电路

我们将搭焊这些电路，也就是说我们不使用印制电路板，直接将元器件焊接起来。通常在焊接以前，我会在面包板上试验电路，但是对于这个只有几个元器件的简单电路，我决定冒一点风险。如果有问题的话，将元器件拆焊下来并重新焊接并不困难。

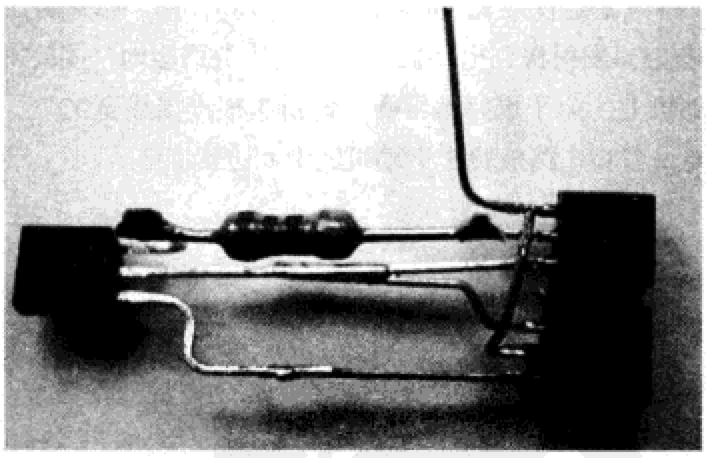
1a. 将两个三极管面朝上，引脚相对放置。将3904三极管的基极引脚（中间）焊接到3906三极管的集电极引脚（三极管上印字的一面朝着你，位于右边的引脚）。



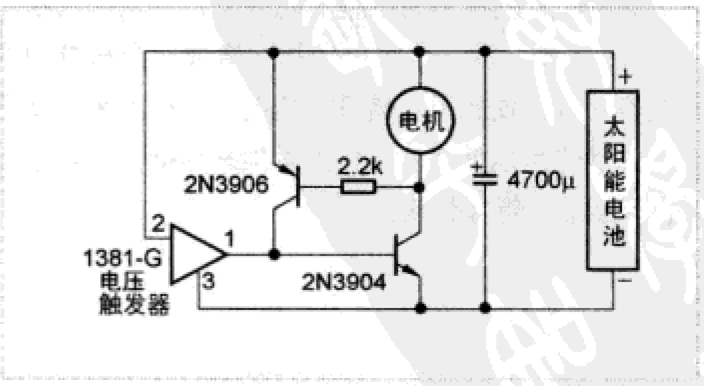
1b. 使用尖嘴钳轻轻地将3904的发射极引脚（左边）向边上弯折90°，将它的集电极引脚（右边）向上弯折90°。将3906基极引脚（中间）向上弯折90°，将它的发射极引脚（左边）向边上弯折90°。在3904的集电极和3906基极之间焊接2.2kΩ电阻。



1c. 将前面步骤中的多余引脚长度修剪掉。将1381电压触发器放置到3906右侧，朝向相同。将它的引脚3（右边）焊接到3904发射极，将引脚1（左边）焊接到3906集电极。最后，将引脚2（中间）弯成弧形，焊接到3906发射极（左边）。这是你的基本电路，准备连接电动机和电源！



1d. 如果你想制作两个BEAMbots太阳能机器人，重复上述步骤1a到1c制作第二个太阳能引擎电路。这里，你可以继续到第2步制作Trimet，或者直接跳到第3步制作Solarroller。

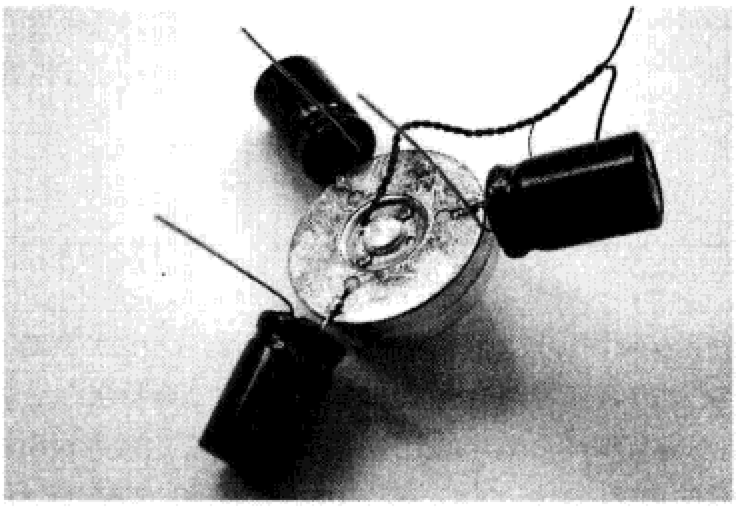


太阳能引擎控制电路的基本原理图

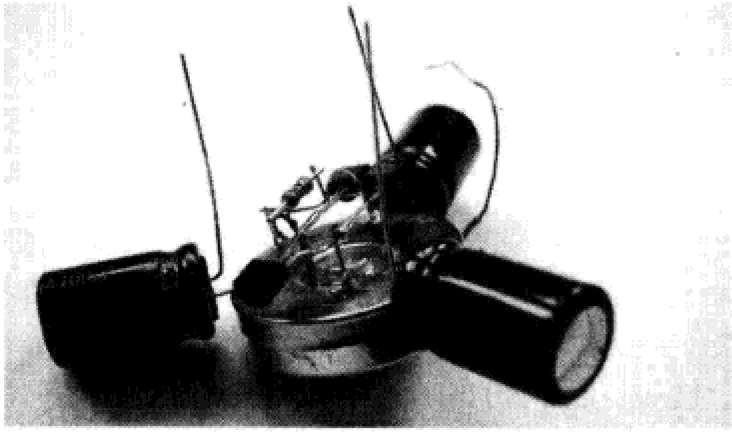
2. 制作TRIMET

2a. 准备好电动机，使用Dremel砂轮去掉任何安装片。然后使用砂纸或金属锉刮光驱动轴一侧的外壳，直到见到闪亮的金属底。真的要刮好，因为你要直接将电容焊接到外壳上，而且在Trimet 滑动和到处碰撞的时候，需要保持原样。

2b. 将3个4700μF电容的负极引脚剪短到刚够焊接到电动机外壳。将3个正极引脚向上弯折，确保远离外壳。在电动机的边缘找到等距离的3个点，将3个电容的负极焊接到这些点上，使电容形成一个等边三角形，从电动机的中心向外辐射。多使用一些焊锡，在焊接的时候，使用海报胶或胶带将电容固定住。

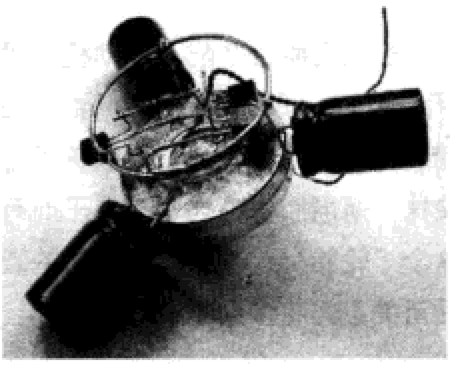


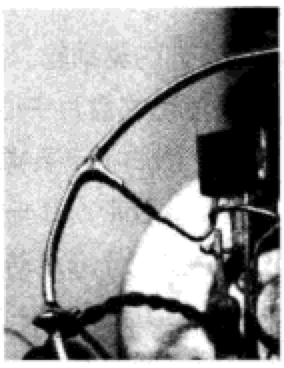
2c. 将电路组件放在电动机上方的中间，用一根废弃的引脚焊接3904发射极到电动机外壳。这将电路接地，同时附着在电动机上。为了更好地平衡，弯折这根连接线至90°，并尽可能试着将电路放置在电动机的中间位置。



2d. 电动机外壳是我们的电路的地（–），现在让我们制作电源（+）一侧。取一个小回形针，弯成一个和电动机相同直径的圆环（方便起见，随身听的电动机和25美分硬币直径相同，所以你可以使用一个作为骨架来绕折）。当你有个不错的圆环以后，焊接起来。

2e. 弯折并均匀地修剪电容的正极引脚，使它们刚好伸出控制电路。焊接“电源环”到3个引脚的尾部，并保持等边三角形的对称性。

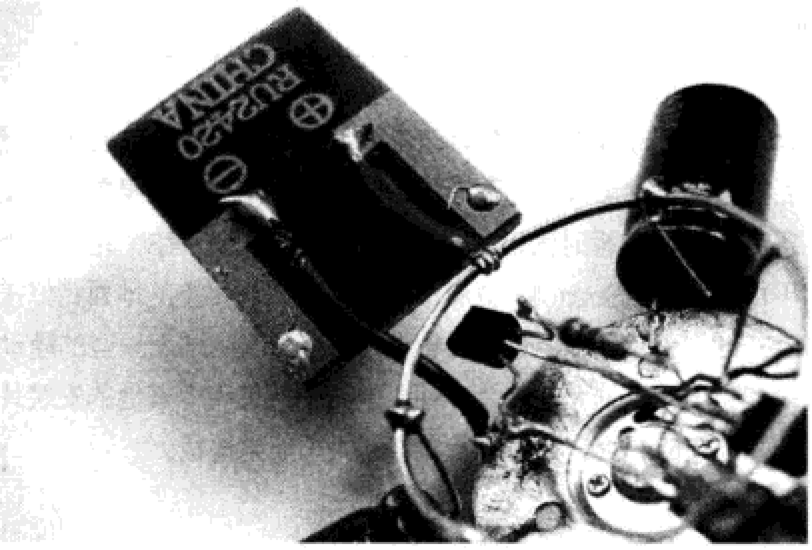




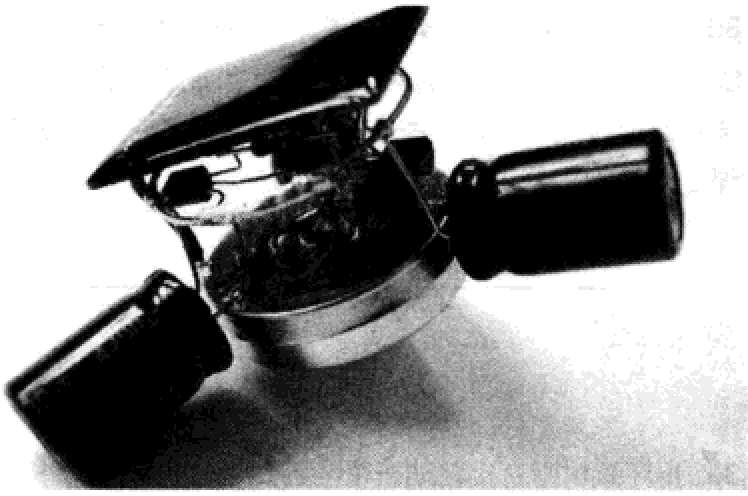
2f. 如果你将3906发射极引脚弯折后可以够得到回形针圆环，那么就这么做，并焊接在上面。不然的话，用一小段导线或者废弃的元器件引脚连接。

2g. 现在连接太阳能电池。如果你的太阳能电池只有预先搪锡的焊盘，但是没有导线（大多数小太阳能电池都是这样的），先开始在上面焊接两根导线——但是要小心，因为太阳能电池是易碎品。然后将红色的正极导线焊接到回形针圆环，将黑色的负极导线焊接到电动机外壳。线的长度需要合适选择，以便于足够长到可以制作电路。但是不能太长，以便于最后将太阳能电池粘贴在回形针圆环上以后，导线看起来能整洁一些。

2h. 连接电动机。将电动机黑色的负极导线焊接到2.2kΩ电阻与3904集电极的连接点。将电动机红色的正极导线焊接到回形针圆环。



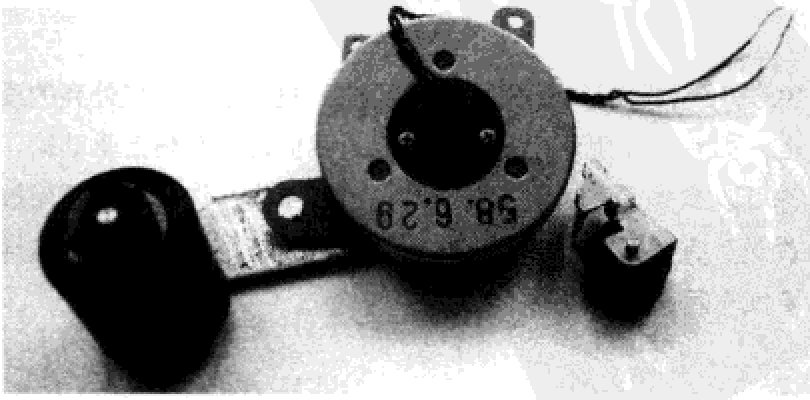
现在，在太阳能电池上照射光，或者将它放在太阳下。大概10s以后，它应该会启动并滑动，或者，如果你握住了下面的驱动轴，它会到处旋转。如果是这样的话，恭喜你——你现在成为了BEAMbot机器人之父！你可以接着将太阳能电池粘贴到回形针圆环。或者，如果不用粘贴的方式固定电池，就可以让人们看到电池下面的样子。



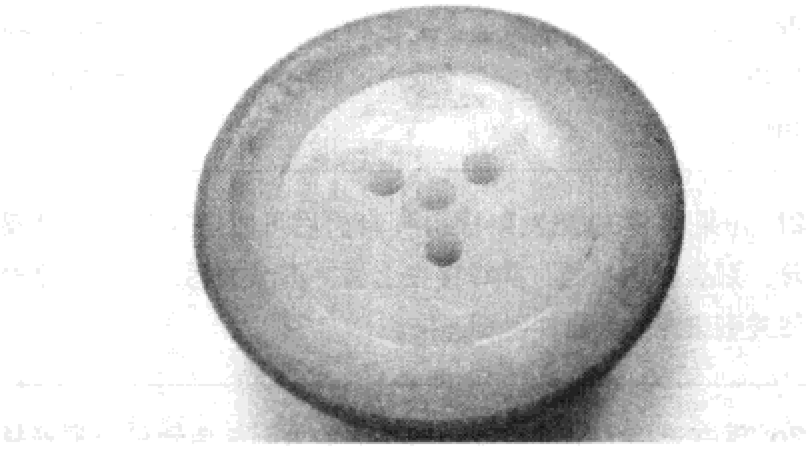
3. 制作SOLARROLLER

Solarroller的制作者们曾经使用了各种材料，从乐高砖块到焊接的回形针到计算机鼠标外壳。这个流行的方法基于老式磁带录音机和录像机的元器件。使用次数会根据你使用的主体和动力传动系统的元器件而改变。

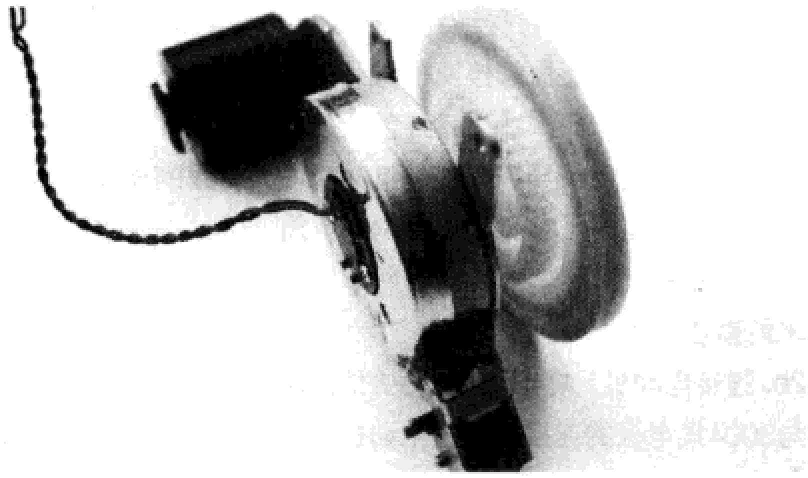
3a. 使用Dremel 工具切掉两个随动轮臂并切下轮子，让它们与电动机外壳有完全的平面接触。Solarroller将立在这两个随动轮和大一些的安装在电动机驱动轴上的驱动轮构成的三角底座上。



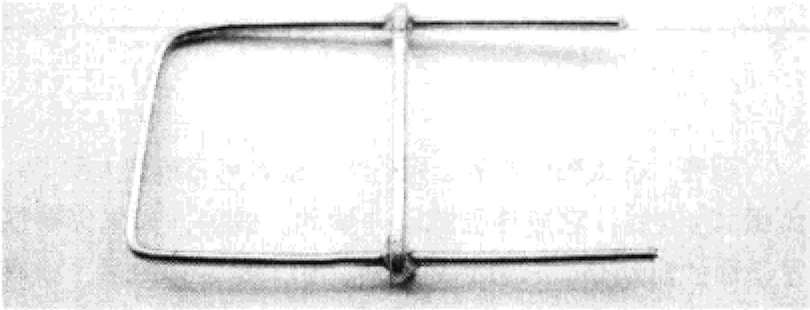
3b. 准备你的驱动轮。首先，检查它能否装配上电动机的驱动轴(我使用的盘片中心的孔太小了，所以我用Dremel 铣刀扩了孔)，然后将一条橡胶带粘贴在轮子的外围，以改善推进力。切断橡胶带，在一头涂抹一薄层胶水，当它变得干而有粘性的时候，仔细滚动在这个“轮胎”，直到成为完整的圆圈。让连接部分重叠，然后用美工刀将多余的橡胶带切掉，确保两头完美的连接好。



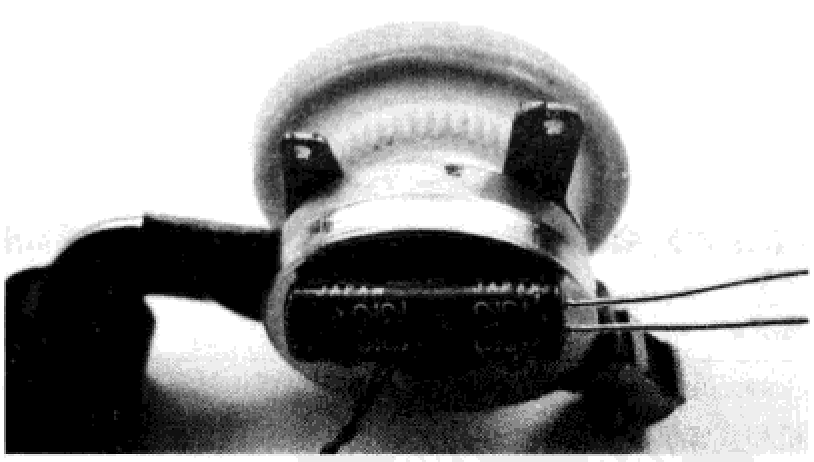
3c. 用环氧树脂粘贴两个随动轮臂到电动机外壳的位置上，然后在电动机轴上试一下驱动轮，但是不要粘住（如果需要，使用海报胶将它暂时固定）。关键之处在于，所有3个轮子互相平行运行，当Solarroller 立着的时候，可以与平整的地面完好接触。如果你使用Solarbotics电动机，你可以粘贴大一些的随动轮臂到电动机的大安装片，朝向前方，并使两个其他的安装片和孔在顶部朝上，用于附着电路和太阳能电池板。



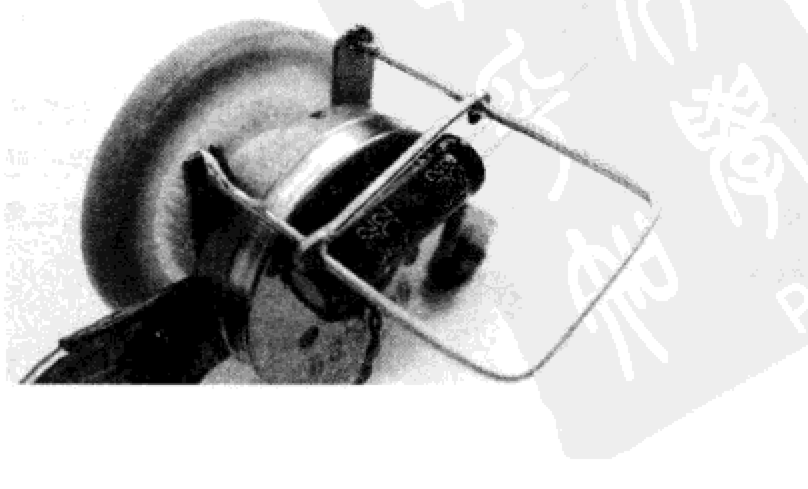
3d. 从一个大回形针上剪下大约10cm线，并弯成U形。对于Solarbotics电动机，宽度刚好够穿过上面的安装孔。修剪剩余的回形针线，在U形线开口约1.9cm处将它作为横支撑杆焊上。



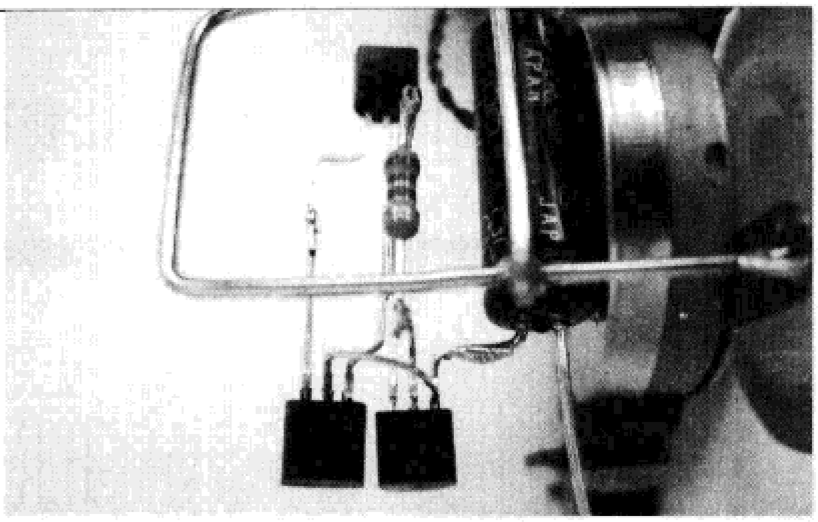
3e. 用环氧树脂直接粘贴一个电容到电动机外壳，水平安放在驱动轮的相对面。引脚应该朝向后面，负极（－）更接近电动机。



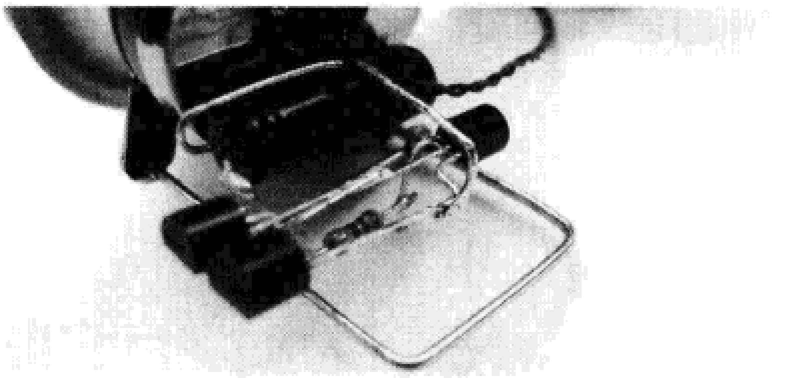
3f. 焊接（或用环氧树脂粘贴）回形针框架到电动机外壳的顶上，如有，使用两个安装孔。因为我们还没有粘上驱动轮，你可以拿掉它，以便于在电动机顶部操作。你可以将框架放置成支撑杆靠在电容上，并用环氧树脂粘贴在电容上，这样更加牢固。粘上驱动轮。



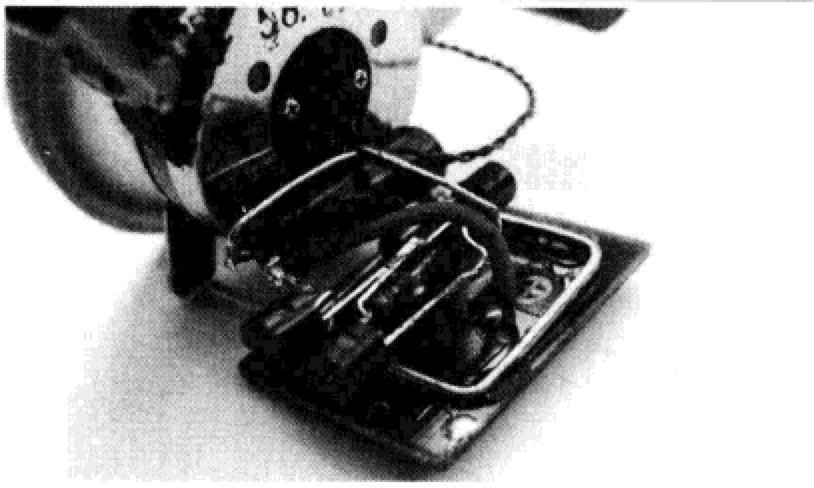
3g. 将Solarengine电路放置在回形针框架下面，靠近电容，位于电动机的另一面。将3906发射极（左边）引脚焊接到电容正极的引脚。连线应该足够短，使电容可以将那端电路举在空中。



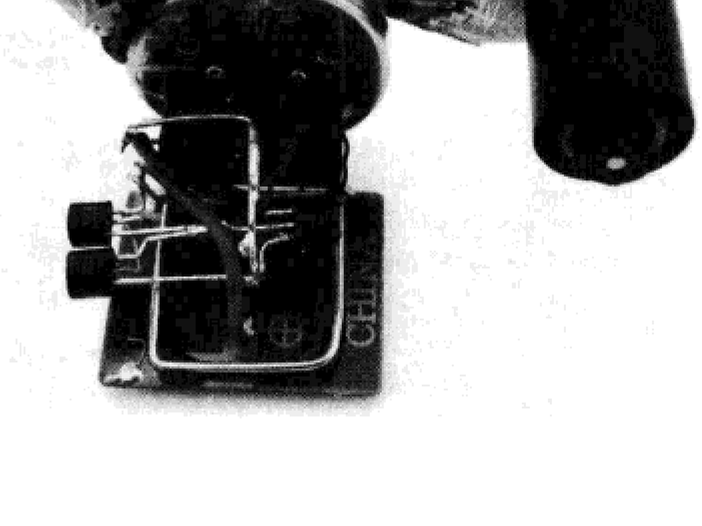
3h. 将Solarengine电路组件翻转，用废弃的元器件引脚焊接3904 发射极引脚到1381触发器引脚3。绕着电容圆筒的底盘弯折电容的负极引脚，然后焊接它到你刚才连接到3904的引脚。这将固定电路的另外一端。



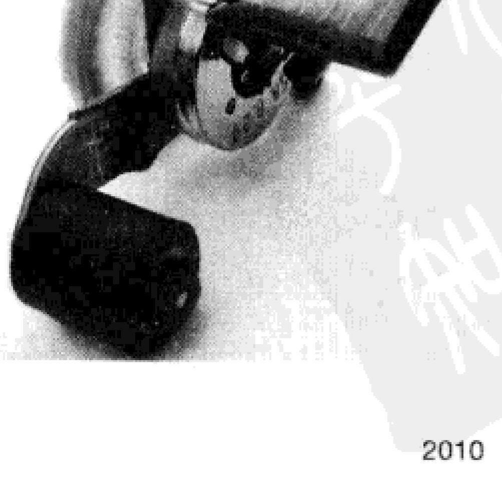
3i. 如果你的太阳能电池不带导线，连接导线到标注为（+）和（–）的焊盘上。导线长度只需够到电容的引脚。将太阳能电池的线穿过框架并用环氧树脂粘贴电池板到顶部。当环氧树脂凝固以后，将太阳能电池的正极焊接到电容的正极，将电池的负极焊接到电容的负极。

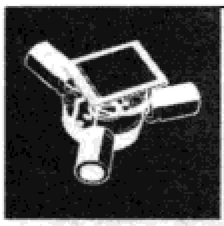


3j. 最后，连接电动机。将电动机红色的正极线焊接到3906 发射极（左边）引脚，将黑色的负极线焊接到3904集电极。



现在，将Solarroller放在太阳下的一个平面上，或者用电筒照射电池板。一会儿以后，电路将触发，电容将放电，你的Solarroller在一段小跑以后将起飞。照射，等待，然后重复。





完成

使用体验　小家伙让我面露喜色

故障排除

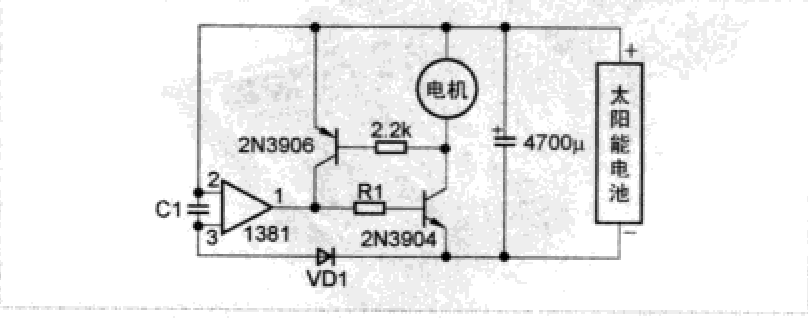
如果你的BEAMbots没有让你面露喜色，仔细检查所有连接，重新焊接任何看起来不牢靠的焊点，并分开任何可能碰到（短路）的元器件。这是个简单的电路，所以除了连错或者虚焊以外，不太可能有什么问题。

进一步的改进想法

在Trimet上，增加一个外部的回形针圆环。这构成了一个保险杠，避免机器人卡住。

在 Solarroller上，用例如0.33F的金电容的“超级电容”替代通常的4700μF电容，如项目照片所示。这些电容可能需要几分钟充电，但是它们可以让你的Solarroller像吸血蝙蝠一样起飞。

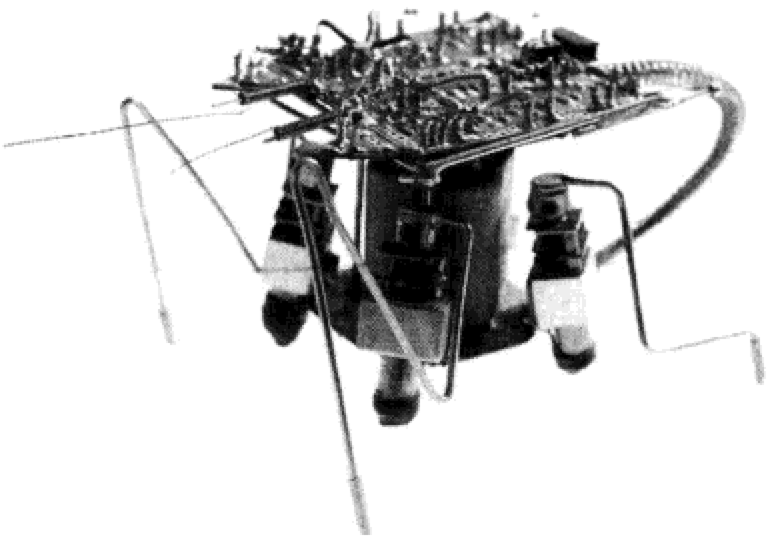
可以很容易地将一个老的索尼随身听变成一个不错的Solarroller。在原本框架的基片上保留电动机，滚轮，滑轮，并将它用作小车的底架。

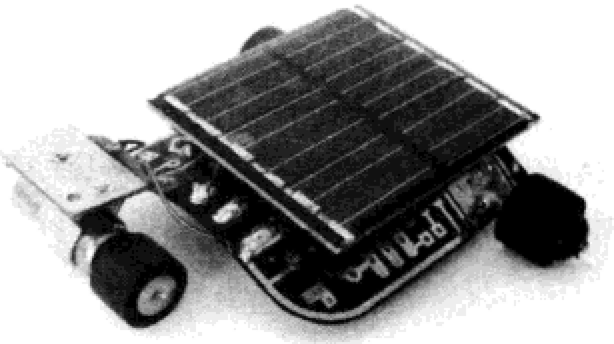


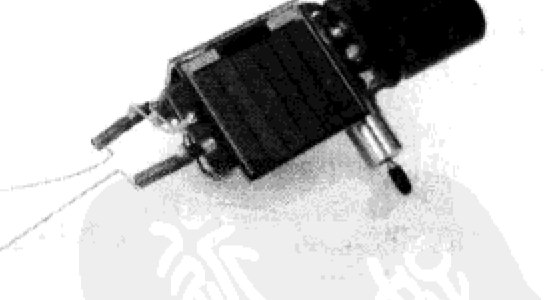
安德鲁米勒改进的电路

试一下安德鲁米勒更高效的基本Solarengine的变种，它几乎一样容易制作。你需要一个不同的电阻，一个额外的电容和一个二极管，但是你可以不需要用3906三极管。在0.47～47μF之间改变小电容的容量，让你可以对不同的放电时间“编程”。

一旦你有了基本的想法以后，你会高度发烧，即席修改BEAMbots，使之有更大的存储容量，更好的障碍躲避策略，或更酷，更抓人眼球的设计。这里给出了一些Symet和Solarroller的变种。







TIPS 三极管功能

双极型晶体管（三极管）可以作为工作开关，就如同机械开关一样的连接电路的各个部分。在一个NPN三极管中，在基极施加正向电压，在发射极施加负向电压，使电流从集电极到发射极流动。PNP三极管则相反，从基极到发射极施加一个负电压，使电流从发射极流向集电极。

本文摘自《爱上单片机》一书，此书从介绍单片机的简单入门到工程开发及行业介绍，其中ARM小记是行业介绍的其中一节。作者用通俗易懂的写作风格，生动地介绍了ARM技术以及学习方法。在此特别摘录，如需进一步了解，欢迎阅读《爱上单片机》一书。

书号：22257　定价：49元

◎杜洋

ARM小记

ARM何物

ARM（Advanced RISC Machines，进阶精简指令集机器），如果你一直把这个单词读成“A”-“R”-“M”，那么将有一个好消息和一个坏消息要告诉你。好消息是：你这是初次接触到ARM技术相关的文章，而本文内容正是专为你量身打造的，无论你是嵌入式系统的门外汉还是单片机技术的初学者，都可以通过本文轻松地了解ARM技术。请相信我，这并不困难！坏消息是：我很抱歉的告诉你，它的正确读法应该是“arm”，是手臂、胳膊的英文发音。很出丑是不是？但除非你是在大声朗读，不然没人会知道的。你又多了一个知识和一个不可告人的秘密。调整一下心态，我们的故事就从这里开始吧！

1990年，有一家高科技公司在美丽的英国安了家，公司是由一群先知先觉的工程师组成的，他们致力于一种新的CPU体系结构的设计。他们想让这款CPU的性能更为出色，有精简的指令集（可以理解成给CPU发出命令的咒语，当然是越简单越好了）和较低的功耗（适合在需要高速度运算又采用电池充电的设备当中使用）。当时传统的电脑CPU发热量大，需要使用风扇散热，这确实很不方便，至少我不希望我的智能手机看上去像电吹风。所以，他们夜以继日的开发，努力实现这个伟大构想。终于，他们成功了！大家兴高采烈地为这款新的处理器结构取了一个响亮的名字——Advanced RISC Machines，缩写为ARM。有趣的是这家公司的名字也是Advanced RISC Machines Ltd.，简称ARM公司，不得不说他们当初成立公司时的伟大目标现在实现了，可是这个巧合里面有什么精彩秘密呢？其实早在我出生的前一年——1983年，一家名为Acorn的电脑公司就已经开始着手开发精简指令集的32位微处理器。在我1岁的时候——1985年，该公司已经研发出了ARM1处理器，一年之后又推出了ARM2处理器并批量生产，之后不久又推出了ARM3处理器。这个时候已经大名鼎鼎的苹果公司看到了商机，于是想和Acorn公司合作开发。后来双方研究决定另外开设一家新公司，专门设计、研发精简指令集处理器。于是才有了前面提到的ARM公司的成立。ARM公司成立之后所研发的是ARM6型处理器结构，推出之后就被自己的两个东家（Apple和Acorn公司）应用在其新款的产品上。

现在好了，我们的ARM处理器结构诞生了。一开始ARM公司的处理器自产、自用，可是随后吸引了一大批世界级的芯片生产厂商（也可能是ARM公司邀请他们过来的，谁知道呢）。这些大厂商们正在为处理器市场的弊端而发愁，所以很快双方建立了合作，即ARM公司自己不生产芯片，而是出售其ARM处理器结构的设计方案，各大芯片生产厂商根据设计方案来生产ARM结构的处理器芯片。这是一桩一本万利的生意，各大厂商每生产一片ARM体系结构的处理器，就要向ARM公司支付一笔知识产权费用。仅是出售一套现有的内核方案就需要至少20万美元，如果还需要特殊修改服务则更是需要上千万美元。ARM公司也在不断的升级、完善自己的产品以占据更多的市场份额。目前的32位微处理器市场上，ARM体系结构的产品已经占到7成以上，而且还在增长。ARM公司身体力行，用实践证明了“知识就是财富”这句话的真实性。当然，这还要是在严格保护知识产权、严厉打击盗版的国家和地区才行。

话分两头，单表买家。ARM处理器结构被各大芯片厂商采用，制作出高性能、低功耗的处理器，然后推向市场（通常我们叫它“ARM处理器”，还有叫“ARM单片机的”）。这些厂家里包括三星电子（SAMSUNG）、

飞思卡尔（Freescale，摩托罗拉旗下公司）、思睿逻辑（CirrusLogic）、爱特梅尔（ATMEL）、恩智浦（NXP，飞利浦旗下公司）、国际商业机器公司（IBM）、德州仪器（TI）、富士通（FUJITSU）和任天堂等，相信这些公司不是脑门发热的家伙，它们选择ARM一定有更长远的考虑。

处理器行业方兴未艾，每天都会有新的技术和方案来满足我们的需求。在低端市场有51单片机等8位处理器来满足我们制作流水灯、电子钟之类的作品，更可以作为控制类产品的开发。它们结构简单、价格便宜、易学易用，是目前电子爱好者热衷的玩艺儿。在高端市场，由x86结构的32位或64位的处理器来构成我们PC机的核心部分。它们性能极高、速度飞快，一边看电影一边聊QQ都不在话下。而一些需要电池供电的手持设备上，如智能手机、高级游戏机、数码相机、掌上电脑等消费类电子产品却需要一款中端类型的处理器。ARM不是唯一的选择，但却是最好的选择。苹果的iPod、诺基亚N93、索爱K系列手机、戴尔的PDA电脑、任天堂的掌上游戏机、多普达的智能手机、还有国内的一些山寨版电子产品上无不用到ARM的处理器。同时在世界范围内的嵌入式行业也刮起了一股ARM的流行风，ARM的学习教程、开发实验板、开发工具、仿真软件日新月异、层出不穷。许多8051单片机的研发公司也开始向ARM转型，而原本学习8051单片机的技术人员和爱好者也开始追赶流行，开始学习ARM技术。我个人认为这种“追赶时尚”多少存在一些非理性和麻木的因素。单片机行业真的要从8位转向32位吗？ARM全面取代8051是未来市场的趋势吗？作为单片机初学者的你应该怎么办，是紧跟时代脉动，还是专心一门技术？以我个人拙见，根本没有选择的必要，下文中再与你细聊。

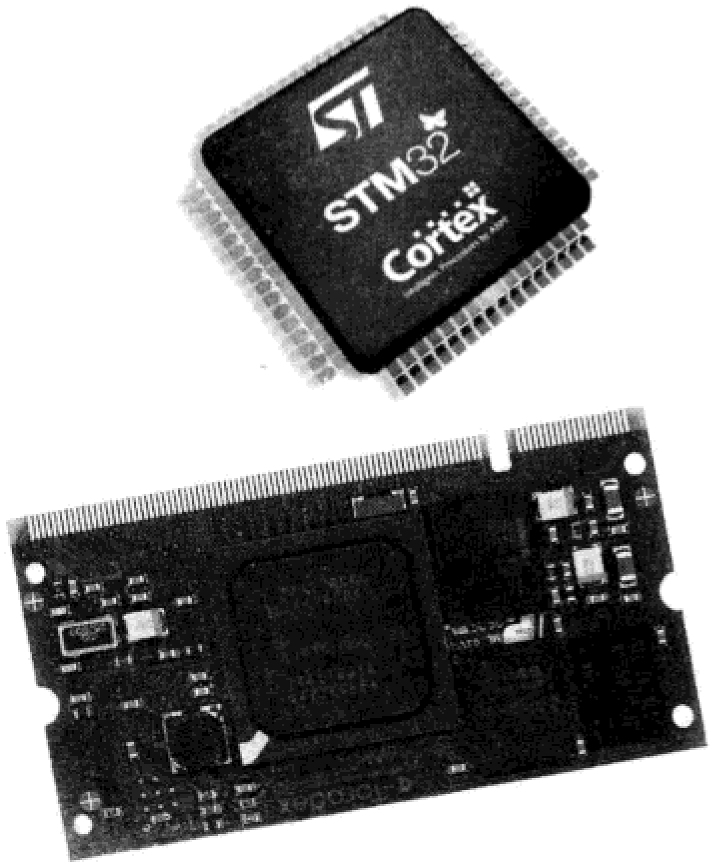


图1 ARM核心的处理器芯片

ARM是最好的选择，但不是唯一的选择，与之竞争的对手也非等闲之辈。最有名的当属英特尔公司出品的XScale处理器（芯片是在2003年前后推出的，2006年英特尔退出嵌入式领域，将XScale处理器部门卖给了Marvell公司），XScale系列处理器从早期英特尔生产的PXA255、PXA270到现在Marvell公司生产的PXA300、PXA310、PXA320，从性能上看都相当优秀。XScale处理器曾被应用在掌上电脑和智能手机上（如MOTO E680）。有趣的是，XScale处理器也是在ARMV5TE核心的基础上改进而成的。另外还有飞思卡尔公司的ColdFire（冷火）处理器架构、AIM（Apple、IBM、Motorola）联盟所研发的PowerPC微处理器架构，以及MIPS技术公司的MIPS32和MIPS64处理器架构。另外还有像AVR32等新型处理器不断推出，这些都是32位嵌入式微处理器，这里就不一一介绍了。表1列出了ARM处理器的系列和应用。请注意表中“应用”这一列，也许你会发现一些熟知的电子产品。之前你在使用它们的时候并没有去想它们的处理器是什么，因为这个问题显得相当神秘，现在你知道了，原来那些看似复杂的产品都有一颗ARM“心”。

最近看到一条新闻，基于ARM处理器的上网本（见图2）将在2010年6月份推出。但因为微软公司的Windows操作系统不支持ARM处理器，所以ARM处理器的上网本将会使用Linux等操作系统。这条新闻预示着ARM开始进军上网本市场，以其特有的实力将笔记本电脑变得更轻巧，未来的智能产品将会超出现在的想象。ARM还可以创造多少奇迹？让我们拭目以待吧。

学习指南

许多朋友想学习 ARM，可是又不知道该从何入手。想

图2 基于ARM处理器的上网本

表1 ARM内核分类及应用

系列	架构	内核	特色	速度	应用
ARM1	ARMv1	ARM1			
ARM2	ARMv2	ARM2	Architecture 2 加入了MUL乘法指令	4 MIPS@ 8MHz	游戏机
	ARMv2a	ARM250	Integrated MEMC (MMU)，图像与IO处理器。Architecture 2a 加入了SWP和SWPB指令	7 MIPS @ 12MHz	游戏机，学习机
ARM3	ARMv2a	ARM2a	首次在ARM架构上使用处理器高速缓存	12 MIPS @ 25MHz	游戏机，学习机
ARM6	ARMv3	ARM610	v3 架构首创支援寻址32位的内存	28 MIPS @ 33MHz	Apple Newton手提电脑
ARM7	ARMv3				
ARM7TDMI	ARMv4T	ARM7TDMI(-S)	三级流水线	15 MIPS @ 16.8 MHz	游戏机，iPod音乐播放器
		ARM710T		36 MIPS @ 40 MHz	精简型手提电脑
		ARM720T		60 MIPS @ 59.8 MHz	
		ARM740T			
	ARMv5TEJ	ARM7EJ-S	Jazelle DBX		
StrongARM	ARMv4				
ARM8	ARMv4				
ARM9TDMI	ARMv4T	ARM9TDMI	五级流水线		
		ARM920T		200 MIPS @ 180 MHz	Armadillo，GP32，GP2X，Tapwave Zodiac游戏机
		ARM922T			
		ARM940T			GP2X游戏机
ARM9E	ARMv5TE	ARM946E-S			Nintendo DS掌上游戏机，Nokia N-Gage手机
		ARM966E-S			
		ARM968E-S			
	ARMv5TEJ	ARM926EJ-S	Jazelle DBX	220 MIPS @ 200 MHz	索尼爱立信K、W系列手机，明基西门子x65系列手机
	ARMv5TE	ARM996HS	无振荡器处理器		
ARM10E	ARMv5TE	ARM1020E	(VFP)，六级流水线		
		ARM1022E	(VFP)		
	ARMv5TEJ	ARM1026EJ-S	Jazelle DBX		
XScale	ARMv5TE	80200/IOP310/IOP315	I/O处理器		
		80219		400/600MHz	Thecus N2100网络存储适配器
		IOP321		600 BogoMips @ 600 MHz	
		IOP33x			
		IOP34x	1-2核，RAID加速器		
		PXA210/PXA250	应用处理器，七级流水线		Zaurus SL-5600掌上电脑
		PXA255		400 BogoMips @ 400 MHz	Palm Tungsten E2掌上电脑
		PXA26x		可达 400 MHz	Palm Tungsten T3掌上电脑
		PXA27x		800 MIPS @ 624 MHz	HTC Universal智能手机，Zaurus SL-C3100、3200掌上电脑，Dell Axim x30、x50系列掌上电脑
		PXA800(E)F			
		Monahans		1000 MIPS@ 1.25 GHz	掌上电脑
		PXA900			Blackberry 8700系列蓝莓手机
		IXC1100	Control Plane Processor		
		IXP2400/IXP2800			
		IXP2850			
		IXP2325/IXP2350			
		IXP42x			NSLU2网络存储适配器
		IXP460/IXP465			
ARM11	ARMv6	ARM1136J(F)-S	SIMD, Jazelle DBX, (VFP)，八级流水线		Nokia N93手机，Nokia N800手机
	ARMv6T2	ARM1156T2(F)-S	SIMD, Thumb-2, (VFP)，九级流水线		
	ARMv6KZ	ARM1176JZ(F)-S	SIMD, Jazelle DBX, (VFP)		
	ARMv6K	ARM11 MPCore	1-4核对称多处理器，SIMD, Jazelle DBX, (VFP)		
Cortex	ARMv7-A	Cortex-A8	Application profile, VFP, NEON, Jazelle RCT, Thumb-2, 13-stage pipeline		Texas Instruments OMAP3手提电脑
		Cortex-A9			
		Cortex-A9 MPCore			
	ARMv7-R	Cortex-R4(F)	Embedded profile, (FPU)	600 DMIPS	
	ARMv7-M	Cortex-M3	Microcontroller profile	120 DMIPS@ 100MHz	Luminary Micro微控制器家族
	ARMv6-M	Cortex-M0			
		Cortex-M1			

表2 常见ARM内核处理器一览

生产商	内核版本	型号	优势	价格（元）
三星电子	ARM7TDMI	S3C44B0		30.00
三星电子	ARM920T	S3C2410	性价比高	40.00
三星电子	ARM920T	S3C2440		45.00
ATMEL	ARM7TDMI	AT91SAM7S256		45.00
ATMEL	ARM7TDMI	AT91SAM7X256	内置以太网功能	50.00
ATMEL	ARM926EJ-S	AT91SAM9261	超低功耗	70.00
ATMEL	ARM926EJ-S	AT91SAM9263		100.00
思睿逻辑	ARM920T	EP9307	简化版EP9315	110.00
思睿逻辑	ARM920T	EP9315	集成更多功能	160.00
飞利浦	ARM7TDMI-S	LPC2100		20.00
飞利浦	ARM7TDMI-S	LPC2210	性价比高	30.00

* 价格仅供参考

听听我的传奇经历吗？那是大学三年级离毕业之前，我在哈尔滨的电子市场看到了一款 LPC2200 处理器（飞利浦公司的 ARM 处理器产品）的开发板（见图 3），这是飞利浦旗下的一款 ARM 处理器，带一个真彩液晶屏，开机时很炫酷，随板又赠送一本 ARM 基础教程。当时很开心，在还没把 8051 学出什么名堂的时候，就开始想转战 ARM 技术。当时这款产品要价 2000 元，我反复挣扎了很久，最后还是压不住冲动的性子，把它买了下来。当时向债主爸爸许诺，一定在短期之内把 ARM 学好。我还真是下了狠心，在各位同学纷纷准备毕业设计论文的时候，我正抱着一本 ARM 基础教程的书反复研究。当时还没有什么好的 ARM 技术论坛，21IC 论坛上水太深，也不敢随便冒泡。就这样，短暂又美好的大学时光过去了，那时我已经自认为对 ARM 技术有了一定的了解。书中主要讲述 ARM7TDMI 的系统结构及原理，枯燥且难理解。如果是现在，我都懒得翻这种书，可当时却是朝圣般地研读。当时感觉 ARM 是一个结构非常复杂的微处理器，它是 32 位处理器，是一个超级单片机，要了解 ARM 的内核结构，精简指令集的使用，还要学习汇编语言，最后就是学习一个叫 μC/OS-II 的操作系统。总而言之要学的内容比 8051 复杂，设计制作也就更难。回想起来，对当时学过的内容已没有什么印象了。

转机出现在南下求职中。毕业之后许多同学留在了哈尔滨，而我却选择只身一人南下深圳，因为那里的电子行业发达，如果可以找到一家好公司可以学到很多经验。和我一样想法的人应该很多，可是最后的遭遇也各不相同，我还是比较幸运的，找到一家很不错的嵌入式系统研发公司，老板对我也很好。我在那里从测试员做起，然后做到技术支持工程师，最后是产品经理。一路下来经历了许多有趣的事情，也从一个产品应用的角度重新认识了ARM。我觉得后来在工作经验中学到的ARM更成熟、更鲜活。

实践中的ARM和书中的ARM完全不同。我要学习的内容从内核结构变成了操作系统，ARM的最大特点就是可以安装嵌入式操作系统，包括在ARM7上安装μC/OS-II，在ARM9上安装的Windows CE、VxWorks和Linux。安装了操作系统的ARM其实是更简单。以应用较广泛的Windows CE来说，我们要开发的USB接口、以太网之类的功能早就已经模块化了，可以直接加载使用。我们需要做的只是在用EVC编译器制作一个主程序和用户界面。

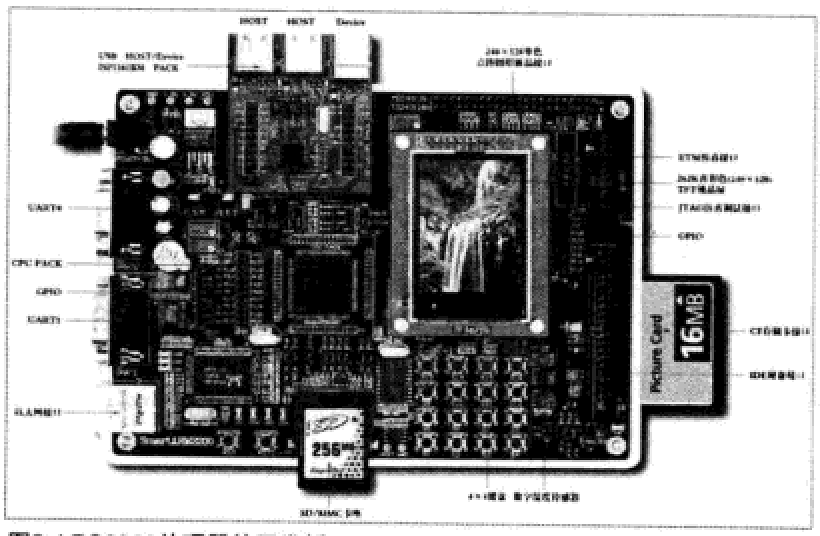


图3 LPC2200处理器的开发板

所以ARM已经将强大的操作系统和底层硬件分隔开来，学习ARM其实是在学习操作系统。这就好像我们今天学习PC机的使用，其实主要是在学习Windows操作系统的使用一样。学习ARM时如果从电脑软件一端入手便会很容易，如果从单片机一端的硬件结构开始，那么学习会困难一些——主要是思维方式不同，学习的难度就有不同。但并不是说不可以这样学习，把ARM处理器当成没有操作系统的超级单片机使用也是很好的选择。市场上许多介绍ARM入门的书多是电子行业的资深人士，他们熟悉8051，当ARM出现时习惯上将ARM处理器当作高级版的单片机来看待，自然也就习惯性地从硬件入手教学。另一方面，现在已经非常成熟的电脑软件开发的专家，多是用VC来编写

电脑软件，如果让他们使用EVC（嵌入式VC）来开发嵌入式系统自然不在话下，可惜他们并没有及时地进入这个领域。所以由电脑软件专家编写的嵌入式系统开发教程更是凤毛麟角。嵌入式系统要想快速发展，就需要由懂得单片机开发的硬件工程师和通晓电脑软件开发的专家通力配合才能实现。目前业内也都意识到了这一点，嵌入式系统的未来值得期待。

作为个人来讲，无论你是单片机爱好者，还是电子技术应用专业的在校大学生，在掌握8051应用之后都应该尽量学习一下ARM方面的知识。我个人推荐你学习三星电子公司出品的S3C2410或S3C2440处理器。它们是ARM9核心的，可以安装Windows CE和Linux操作系统。市场上的学习板价格也便宜，图书和资料也相当丰富。相信你会爱上图型界面的开发的，那确实是很让一个电子爱好者着迷的事情。现在行业内嵌入式系统的开发人才短缺，学好ARM也会对找工作大有好处。

小结

文章写到这里，也许有的朋友已经开始计划学习ARM了。我的文章煽动性确实很强，可是面对自己的未来计划应该更理性、更冷静的思考。首先ARM对于单纯的电子爱好者而言并没有单片机那么好玩。因为ARM处理器的价格较高，周边的元器件也并不便宜。虽然用ARM可以开发一些智能化更高的产品（例如带有彩色显示屏的设备、以太网接口的设备等），但是做一个硬件制作下来需要几百到几千元，作为电子爱好者的DIY娱乐，确实是太奢侈了。所以多数学习ARM的人都是为了找到福利更好的工作，或者承接一些基于ARM的项目开发。如果你不是出于这两种目的，对于ARM只了解就可以了。还有，ARM软、硬件开发的复杂程度要比8位单片机高，如果8位单片机还没有熟悉开发的时候就转到ARM的学习，其实是不理智的行为。玩转ARM处理器除了过硬的单片机功底，还需要软件开发的能力，ARM开发中有80%的工作都是在软件层面上，如果你学过电脑软件的开发（如VB、VC开发），也接触过操作系统（如Windows、Linux），再学习ARM就会事半功倍了。虽然操作系统会让开发变得更方便快速，可是花时间研究操作系统也是必须的。最后结束一句吧：ARM很流行，也要量力而行。

ARM学习捷径

- 跳过ARM7，直接选择ARM9核心的处理器，推荐学习S3C2410或S3C2440。
- 重点学习嵌入式操作系统的应用软件开发，推荐学习Windows CE或Linux。
- 尽量选择电脑软件开发人员编写的教学图书，用软件开发的思维和方式去学习。
- 学习的成果要可以变成自己的作品，推荐以项目开发的方式学习。

前言分享

仅以此书献给未来的单片机爱好者。

第一章 硬功夫： 从基础硬件入门，用面包板开始，使用STC12C2052单片机开始实验。

第二章 软实力： 改、看、组、写、造，五步轻松学习单片机编程。

第三章 小工程： 学习工程设计，深化工程思考。

第四章 大行业： 熟悉行业现状，了解行业历史，融入行业社会，面向行业未来。

第五章 巧问答： 技术、工程、行业和与之相关的问题与解答。

有趣很重要！

一本入门的书应该怎么写？我为这个问题苦思良久。要想提起读者的兴趣，它必须有趣。忘记那些一板一眼的学术风格，删除那些深渊难懂的专业术语。接下来就是向街道办事处的大妈们认真学习聊天的技巧，在嘻嘻哈哈的故事里融入关于单片机的技术知识。让我的处女作看上去像是个人自传，又好像现代小说。这就是我的入门风格，让你边笑边学习，买我的书学习单片机不是让你受罪来的，我有责任/义务让你开心。

顺序大不同！

看看其他的入门书籍，闭上眼睛你都可以猜到内容的顺序。这样的教学顺序真的能事半功倍吗？对此我是下了功夫研究的。看看本书的章节顺序你会发现与众不同之处，顺序的设计不是为了让目录看起来更工整，而是完全按照初学者的思维方式而编排。有一些手动制作和基本知识放在了本书的前面，那些饮水思源的深层原理则放在本书后面介绍。有些知识放在前面有助于理解后面的内容，有些知识放在后面可以让你有继续阅读的动力。试试我为你量身打造的新入门顺序，相信你会爱不释手的。

新图文并茂！

每本教材都说自己是图文并茂，为了和它们区别开来，我用新图文并茂来定义我的书。阅读本书的最佳方法是先通篇看一遍书中的图片，只看图片和图片说明。然后再回过头来看一下感兴趣的图片处的文章，最后才是从头开始认真品读。实物图片是精心拍摄的，电路原理图和示意图是花了许多时间认真绘制的，最大限度地保证新颖、美观。如果你喜欢这些图片，可以把它们裱起来挂在墙上当作艺术品来欣赏。

不只是技术！

单片机入门的书籍应该包括什么内容？先入为主的答案告诉你，单片机入门便是硬件制作和软件编程。如果只学习这两项内容，你只学会了单片机技术层面的知识，如果那本书的书名是“单片机的技术入门教程”则没有半点问题，但如果没有“技术”二字，书中就应该包括单片机的工程设计和嵌入式行业的学习内容。不要以为学习单片机就是学习技术，技术仅是最容易学习的内容，使用单片机完成工程开发和单片机行业经验的学习才是全面入门单片机的重要组成部分。

《爱上制作》系列图书即将出版

本刊将出版《爱上制作》系列图书的消息刊登后，新奇有趣的内容、图文并茂的表现形式令读者眼前一亮，引起了许多DIY爱好者的关注。2010年4月在上海国际无线电节上等不及的读者已经提前开始预订了。目前该套图书的翻译、编校和排版工作正在紧锣密鼓地进行着，为满足读者急迫的好奇心，本期我们从书中节选了两篇文章提前尝鲜。有关该系列图书的进展，请关注本刊和网站上的消息。

更详细的介绍和预订方法见本期封二。

家用电子

这是一个业余电子制作的开端。

电子制作工作台

◎曾学明　夏明新译

基础

首先，你需要一个面包板，你也可以把它叫做“原型样板”，但这个叫法有点像把电池叫做“电力池子”一样不好听。在Radioshack网上输入“面包板（Breadboard）”，可以搜索到超过一打与面包没有任何关系的产品，都是业余电子制作用的东西。

面包板是一个打了很多1/10英寸孔的塑料板，孔的大小刚好能插入双列直插的集成电路引脚。双列直插是贴片封装出来之前的产品，贴片封装的集成电路引脚非常密，手工不好操作，可能只有机器人才喜欢它。幸运的是，对于业余爱好者来说，很好用的老式双列直插集成电路仍然在大量供应。

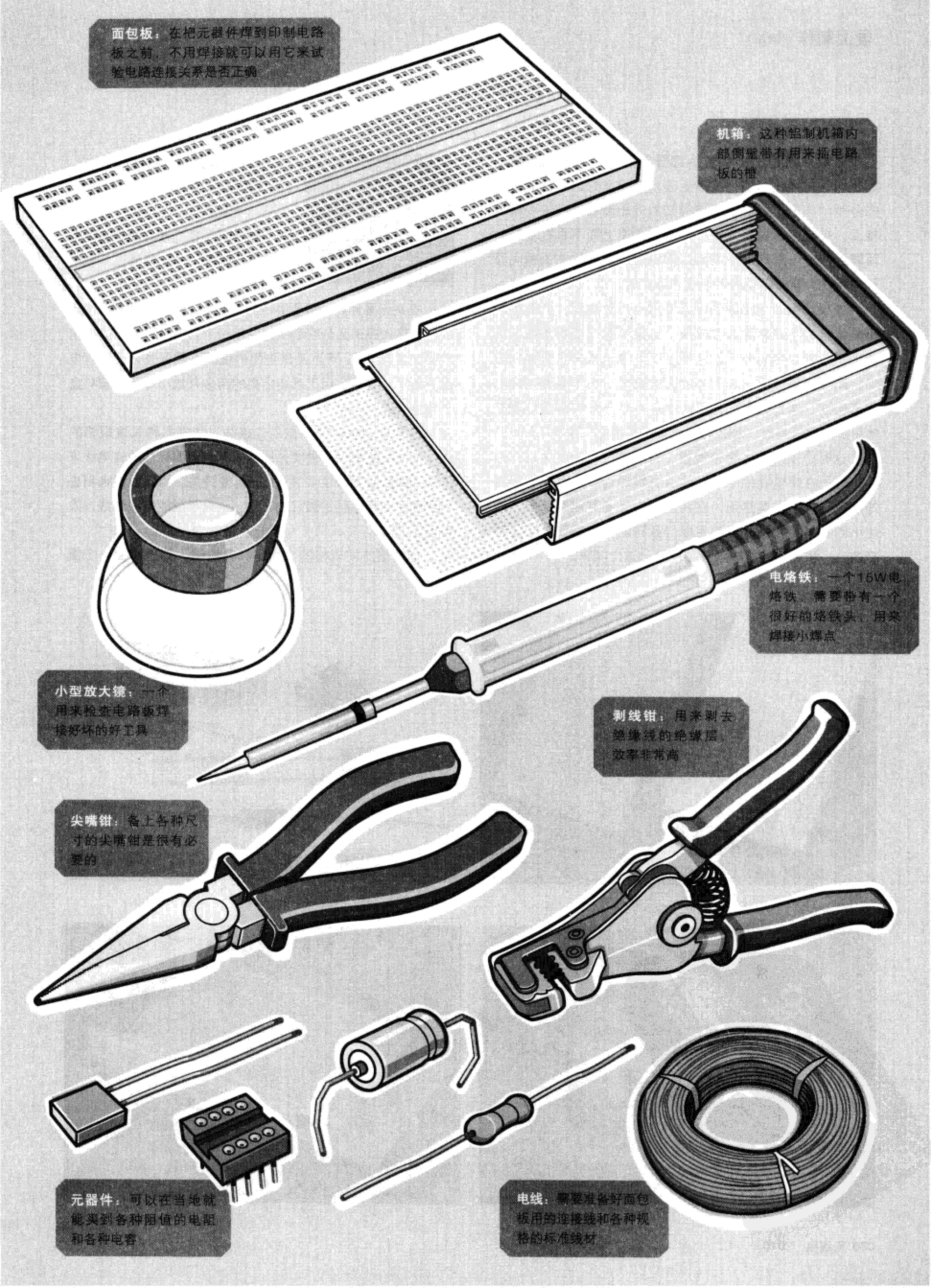
用面包板搭电路非常方便。面包板的塑料孔后面是排列在隐藏的行和列下面的铜制导体，当把元器件的引线插进一个孔时，引线就和铜簧片接触，无需焊接，铜簧片就把各个相关元器件连到了一起。

图1是一个常见的面包板。把芯片引脚跨着中间的沟插在孔中，然后把其他器件插在两边。图1也给出了一个印制电路板的底部，上面具有和面包板相同排列的铜导体。搭电路时，先用面包板来确认电路原理和元器件工作是否正常，接着把元器件迁移到印制电路板中，把元器件的引脚从顶层插入，在底层通过把引脚焊接到铜带上来实现你的电路。

当然了，焊接是一个技术活。一直以来，要合适的工具干活是需要付钱的，我曾经一直不相信这句话。因为我长在英格兰，在英格兰有一个“用更少的投入做事情”的格言。

当我最终买了一把焊头很好（见图2）的15W电烙铁后，我意识到我过去几年简直是在惩罚自己。你需要一个具有好焊头的电烙铁，可以用来焊接很小的焊点。还需要一个小放大镜——图2中也包含了放大镜的图片，一个便宜的塑料放大镜就够用了。你可以用放大镜来检查焊点之间是否有焊锡连起来了，连起来的焊锡会导致短路。

短路是导致电路失败的第2号原因，导致一个电路在面包板上工作正常，而在印制电路板上却彻底不工作。失败的头号原因（我自己的经验）是虚焊。


面包板：在把元器件焊到印制电路板之前，不用焊接就可以用它来试验电路连接关系是否正确
机箱：这种铝制机箱内部侧壁带有用来插电路板的槽
电烙铁：一个15W电烙铁，需要带有一个很好的烙铁头，用来焊接小焊点
小型放大镜：一个用来检查电路板焊接好坏的好工具
剥线钳：用来剥去绝缘线的绝缘层，效率非常高
尖嘴钳：备上各种尺寸的尖嘴钳是很有必要的
元器件：可以在当地就能买到各种阻值的电阻和各种电容
电线：需要准备好面包板用的连接线和各种规格的标准线材

任何焊接指南都会告诉你需要把两个元器件挨在一起，同时把焊锡和烙铁头靠上去。在操作好这个难以掌握的分步动作后，你还必须用神奇的近距离视力仔细观察焊接点。焊锡应该像溪流一样附着在金属上而不是在金属的顶端形成一个焊珠。你需要在焊锡形成这个状态的瞬间移开电烙铁，等焊锡冷却后焊接才算完成。

如果焊接时电烙铁温度不够就会导致虚焊，此时的焊锡晶体结构不完整并存在碎块。如果你是连接两条线，简单地一拽就很容易分开，这样可以方便地检查是否存在虚焊。而在电路板上出现虚焊就会很麻烦，不可能通过拽芯片来检查。这是因为芯片引脚很多，当一个引脚虚焊而其他引脚焊得很好时，那么芯片也肯定是拽不下来的。

这时必须用放大镜来检查。有时候你可能会发现一根线正好处在焊盘孔的中间，线上有焊锡，焊盘上也有焊锡却没有连接上。这是因为在两个焊锡之间可能有间隙，即使小到0.01英寸的间隙都足以导致开路，你需要一个足够亮的台灯和高倍数的放大镜才能看见这个间隙。

元器件和工具

就像需要鸡蛋和橘子汁一样，你也需要各种规格的电阻和电容（见图3）。你可以在附近的电气商店买到预先装好的不同规格的阻容元件包，也可以通过互联网购买。

买来元器件后，需要进行分类和贴标签。一些元件使用的是色环代码来区分它们的值，用一个万用表（好点的万用表要50美元1个）可以测试电阻的值而不需要去死记硬背电阻的色环。我喜欢用工艺商店卖的用来存放小珠子的塑料盒子存放电阻、电容。

使用面包板时需要用到连接线，包括各种长度规格的线，线两端的绝缘层需要去掉。同时也需要标准的软电线来连接电路板和面板上安装的LED灯或开关。用剥线钳来剥去导线两端的绝缘层是最好的方法，一只手就能完成剥线，效率奇高。

你需要不同规格的尖嘴钳和斜口钳，你还需要一个镊

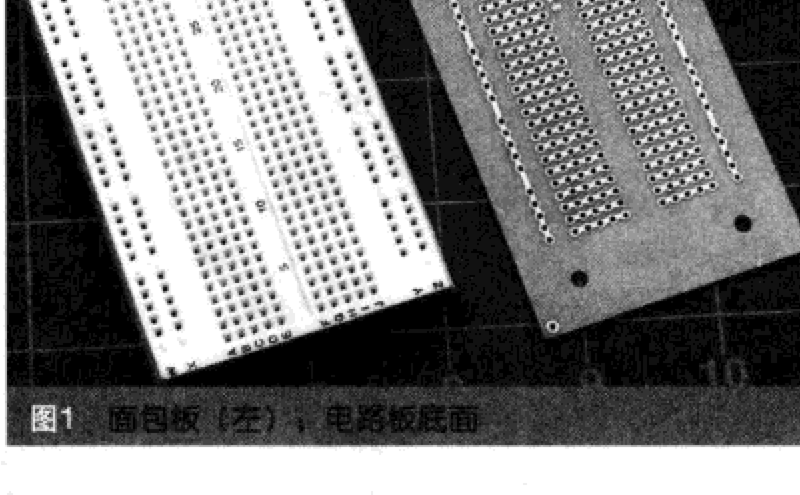


图1 面包板（左）；电路板底面

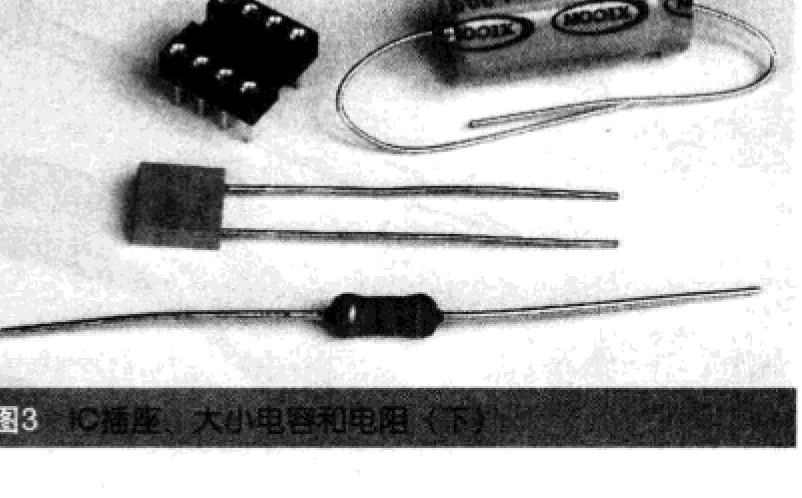


图3 IC插座、大小电容和电阻（下）

图2 笔式电烙铁和放大镜

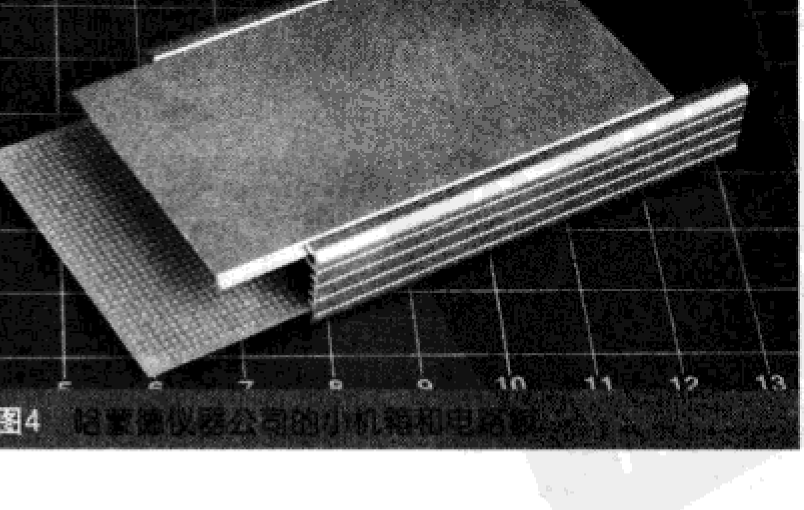


图4 哈蒙德仪器公司的小机箱和电路板

> 和一些古老的工艺如木工相比，电子制作是一个非常便宜的爱好，也不占什么地方。

子和一个迷你台钳用来夹持工件、鳄鱼夹和一个神秘的东西——热缩套管（用过热缩套管后你将再也不会想用绝缘胶布了），用热风枪就可以将热缩套管缩小。

这些听起来像是一个庞大的投资，其实不然，一个基本的工作台包括工具和元器件不会超过250美元。

要完成你的小制作，自然需要一个小机箱，你也可以把电路放进一个塑料盒子中，并用螺丝拧紧。但我喜欢更发烧一点，哈蒙德仪器公司制作的一个拉丝铝盒子带了一个允许拉出来的盖子，盖子拉出来后可以对电路板进行操作，盒子里面的槽可以用来插入电路板。我说的这个盒子可以同时插入3层电路板，足以容纳需要多个芯片的大型项目。

学习电路原理

最后一步也是最重要的一步就是你需要基本理解你所要做的东西的原理，避免只能一步一步按照指导书操作，否则一旦电路不工作你就手足无措了。先读读基本的电路知识以学习欧姆、安培和电压之间的关系，这样才能做一些计算，避免由于超出额定电流而损坏电阻或加了过高的电压而损坏LED。还要遵守下面的故障排查规则：

>>查找不工作区域

在面包板上进行故障排查会很方便，你可以插入其他的 LED 来指示电路是否工作，也可以用蜂鸣器代替指示灯。当然了，也可以用万用表的黑线接电路的地，用红色探头去测量其他地方（要小心，不要造成短路）。如果你小心弯折电路板时得到一个断断续续的读数，几乎可以肯定某个地方存在虚焊而导致了时通时断。我曾经不止一次发现过一个电路板工作很正常，但是装到机箱里面就不工作，最后发现是用螺钉压紧电路板时给电路板施加了一个力，这个外力导致一个连接断开了。

>>检查短路

如果电路板存在短路，电流将从短路的地方流过而其他部件就没有足够的电源，这些部件上的电压就比设计的电压低。另外一个方法是用万用表测量电流，把万用表的一端连到电源上，另外一端连到电路的电源输入端。如果出现零电流就意味着你的电路严重短路了，过大的电流把万用表内部的保险丝烧了。

>>检查烫坏的元器件

这一点很难，最好在第一步时就避免损坏元器件。如果你的集成电路用了插座，先把空插座焊到电路板上，等每个元器件都凉下来后再插入芯片。当焊接二极管（包括LED）时可以用一个鳄鱼夹夹在烙铁和元器件之间，鳄鱼夹可以吸收部分热量。

在电路板上查找走线问题真的是一个很烦人的过程，但电路也具有好的一面，当你确实把一系列的元器件放一起并能正常工作后，这个电路通常都会任劳任怨地一直正常工作几十年——不像汽车、剪草机、电动工具那么烦人。

对我来说，这是电子制作爱好者不可抗拒的一个方面：你完成的东西所实现的功能比所有的零部件之和还多，并且具有魔术般的耐久性！

家用电子

好玩的骰子

——打造一对电子随机数发生器

◎曾学明　夏明新译

对我来说，一个构思好的制作不仅要能创造出一个有趣并实现功能的东西，还要让人赏心悦目。如果在制作过程中能带给我一些趣味性，那就更好了。我在制作一对电子骰子时成功地满足了这些需求。虽然骰子模拟器已经出现了很多年了，我还是能够简化这个制作，同时还可以使它更有趣。

电子骰子的基本原理很好理解：用一个芯片产生快速的脉冲，第2个芯片对每个脉冲进行计数并通过模仿骰子点数的LED阵列把数显示出来。在任何时刻一旦停止计数，电路就会随机显示一个数字。

多数的骰子电路用的是十进制计数器来计数，但我用的74LS92芯片是六进制计数以二进制输出计数结果。这些听起来麻烦，却最适合用来做骰子显示。

图1给出了74LS92的顶视图。这个芯片有14条引脚，其中9、11和12是输出，输出高电平代表1，低电平代表0。芯片的原始输出都是0。

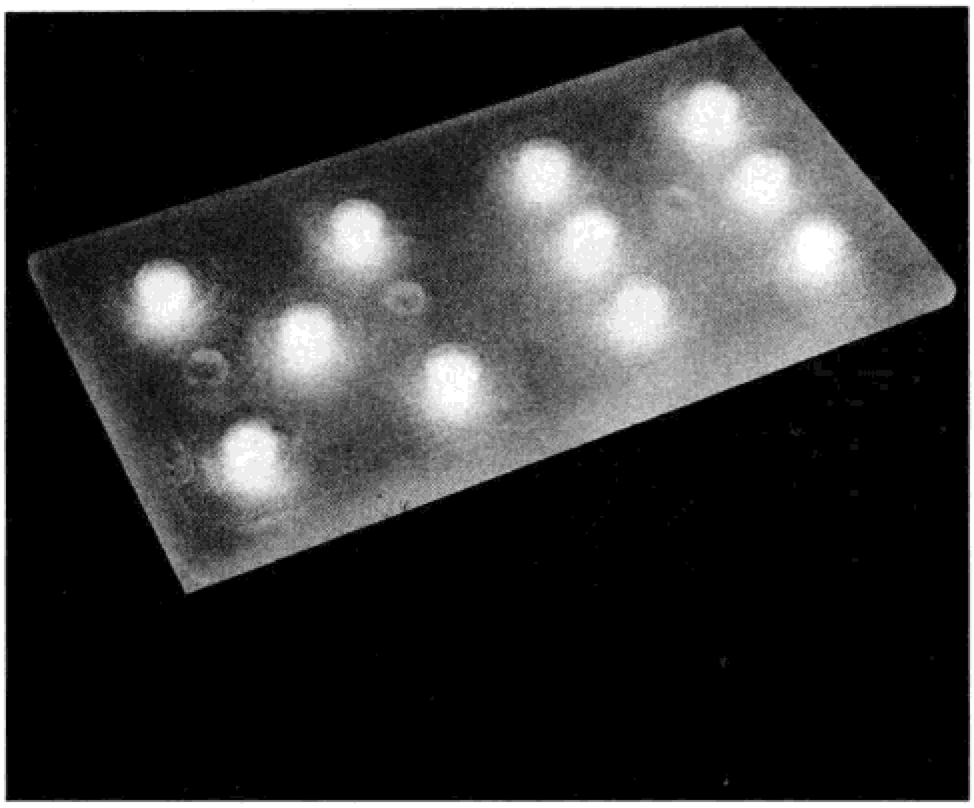
当它接收到一个脉冲信号时，引脚12从0计数到1，下一个脉冲来临时，引脚12给引脚11进位并把它自己的输出复位为0。接着再次计数到1，由于引脚11和12都达到了它们的最大数，下一次脉冲到来时它们向引脚9进位并把自己都置0。二进制计数序列见图2的表格。

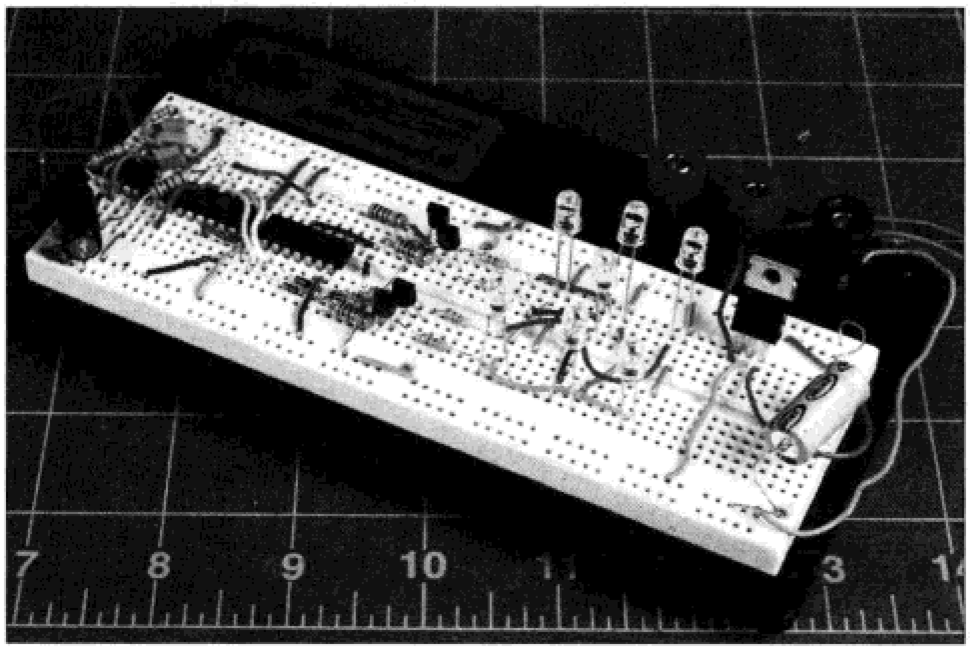
如果用12脚去驱动骰子二极管阵列的中间一个LED，引脚11驱动两个对角的LED，引脚9驱动另外一个对角的LED，计数器将按计数顺序显示所有1～5的点。我喜欢这种简化的安排，但是有点问题：计数器从0开始但显示的是6，因此我使用了一个或非门芯片来解决这个问题。

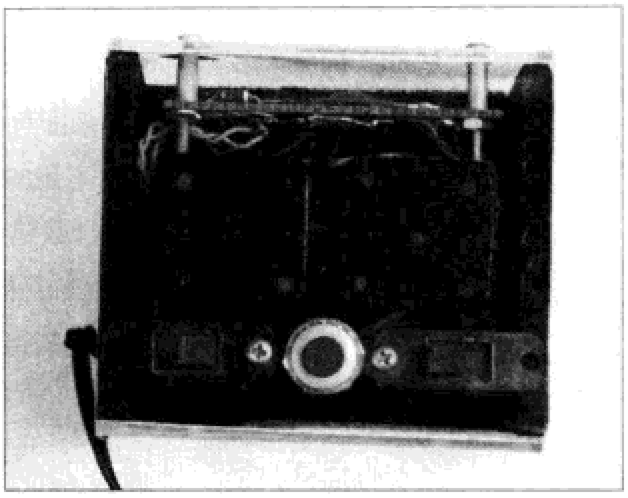
计算机的布尔逻辑计数意味着它们有很多器件可以有两个或多个输入，然后根据一个简单的计算规则输出结果。或非门的原理就是当所有的输入都是低电平时输出为高电平。

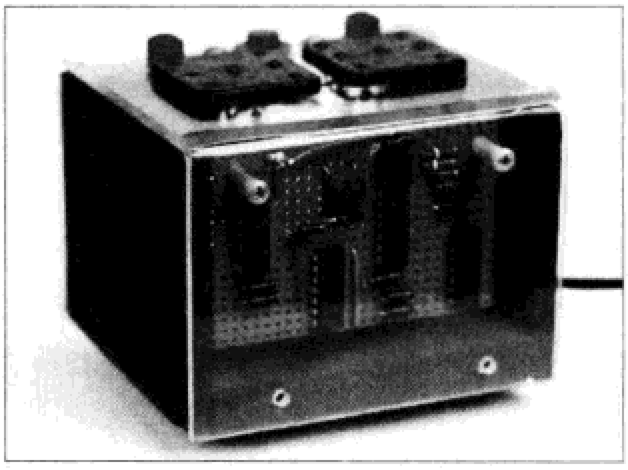
74LS27具有3个3输入或非门（如图3所示）。我们要做的只是把计数器的3个输出引脚连接到或非门的3个输入引脚上，把或非门的输出连接到6个LED灯，简化图见图2。

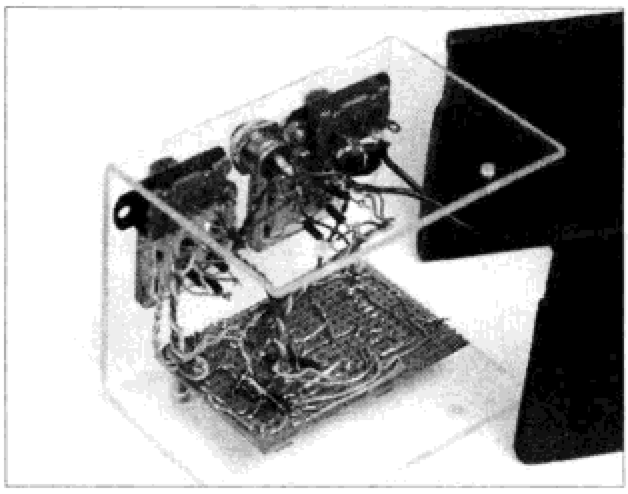
完整的电路图见图4，你可以通过把元件插在面包板上来实现。为了使电路图看起来整洁些，我把电源和地线省略了。你需要把所有正极（红色）符号连到5V电源的正端，负极符号(蓝色)连到电源的负极。最好的办法是用一个诸如LM7805的稳压器件来使芯片免受过高电压（比如12V电源）的损坏。我一直都很喜欢LM7805这个器件，因为厂家的数据手册上描述这个器件是“相当不容易被损坏”，因此我可以使用这个芯片。











左上图：现代的高亮白光LEDs用在骰子上会有戏剧般的显示效果。盒子是用1/2英寸的有机玻璃做的，用砂纸把有机玻璃表面打磨一下使它看起来像是毛玻璃。LED灯是用3M的透明硅胶粘在盖子上钻的孔中

左下图：花了一小时在面包板上装好的单个骰子的电路

右图：这个电子骰子是20世纪80年代做的，制作本文的骰子时对其做了彻底的改进

为了避免输入和输出冲突，我在74LS27的周围加了4个二极管。由于计数器芯片的直接驱动能力不够，我们还需要几个三极管来驱动LED。电阻R5～R8是用来防止芯片驱动三极管时过载。R9～R12用来保护LED，这4个电阻的准确电阻值取决于你用的LED，需要查看厂家的推荐电压值（通常是3.5～25V），当每个LED灯点亮时用一个万用表测量这个电压值，通过调节电阻的大小将测量的电压值调到厂家推荐的电压范围。

很可能你需要把LED灯装到一个独立的显示面板上，可以用图5的结构，骰子的4个输入小方块是对应图4电路中的4个输出小方块，把它们用线连接起来即可。

完成电路安装后，需要把74LS27不用的引脚和地线连接起来，以避免电子噪声的干扰而出现计数错误。

图4上面的S1是为555电路供电的轻触开关，555每秒产生500个脉冲送到计数器，这样就没人能知道任何一个时刻计数值是多少了。

当S1释放后，相当于把骰子扔出去，给555的供电切断，电容C2积累的电荷开始缓慢放电。随着电压的减小，555运行得越来越慢，直到LED灯停止闪烁并显示一个数——就像是骰子在桌面上滚动停止后一面朝上。

如果你想要两个骰子，需要复制两个完整的电路（除了74LS27，因为74LS27还富余了两个或非门）。为了确保随机性，第二个骰子必须以另外一个速度运行，需要将C3、R2和R3改为不同的值。也可以把C2的值加倍，使第二个骰子需要更长的时间来停止闪烁，就像是赌城拉斯维加斯的角子机上的数字一样。两个骰子应该同时开始显示，需要用一个双刀开关来同时为两个电路提供电源。

如果制作中出了故障，可以用一个 10μF 的电容并联在 C3 上，使 555 定时器变得很慢，把 IC3 断开，连接一个万用表在 IC2 的输出端检查电压变化情况。如果计数正常，那么重新把 IC3 连上。检查 IC3 的输出，注意一次检查一个输出。还要确保使用的是 5V 电源，任何更高的电源电压都可能烧坏芯片。

当然了，我可以写几行代码在计算机屏幕上显示随机数来模仿骰子，但是设计得再好的界面都不可能和做得很好的硬件骰子有相同的性能。我也很满意用一个简单的专门功能的芯片来实践计算机基础理论的二进制算法和布尔逻辑。更重要的是，我做出的制作达到了我在开篇时所说的特殊目标，对我来说，制作的意义就在这里。

元件清单

S1: 单刀单掷轻触开关

R1: 100Ω 电阻
R2: 100kΩ 用做时间积分
R3: 100kΩ 用做时间积分
R4: 100Ω
R5、R6、R7、R8: 10kΩ 保护芯片用
R9、R10、R11、R12: 500Ω 保护LED（调节电阻值以适合你用的LED）
C1: 100μF 退耦电容
C2: 22μF 电容使定时器变慢
C3: 0.01μF 用做时间积分
C4: 0.01μF 用退耦

VD1、VD2、VD3、VD4: 1N4148（或类似） 信号二极管
VT1、VT2、VT3、VT4: BC550 信号三极管
IC1: NE555N（或类似芯片）定时器
IC2: NTE 74LS92N（或类似）计数器
IC3: 74LS27 3输入或非门

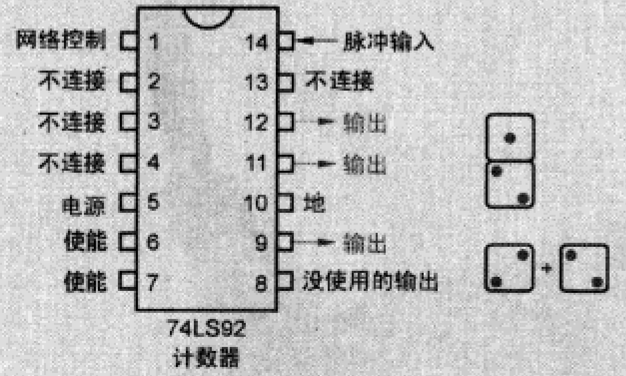
还有：
7个LEDs（自己选择）
LM7805CT（或类似产品）5V 三端稳压

芯片来源： ebay.com或mouser.com

7400系列芯片在月球的故事：

你可能注意到74LS92计数器和74LS27或非门的器件型号有点类似，这是因为他们都属于德州仪器公司在过去开发的7400集成电路家族。7400系列芯片在美国航空航天局的载人登月中已经飞到月球上了，成为了电子史上的一个神话。对此，维基百科上也有描述（wikipedia.org/wiki/7400）。时至今日，7400系列芯片仍然用在做原型机和计算机科学上。我们没有提及7400系列的其他各种布尔逻辑组合，如与、或、非、与非、或非、异或和异或非，因为这些超出了电子骰子所需要的范围了。

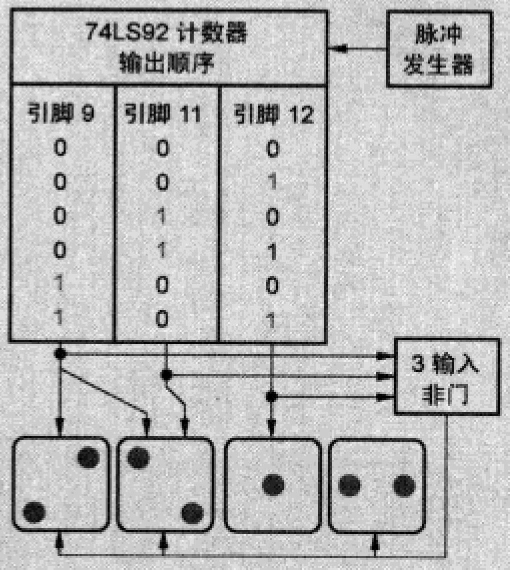
图 1



74LS92计数器供电引脚为5（正）和10脚（负），7脚接负电压使芯片工作。9、11和12连接三极管来驱动骰子的LED以显示1～5的数；负电压＝0V，正电压＝1V。

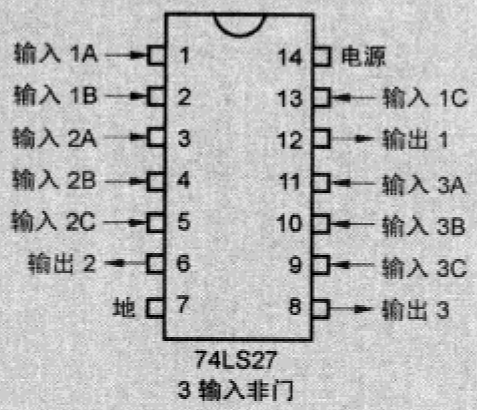
“不连接”的意思是这些管脚在芯片内部没有任何作用，可以忽略

图 2



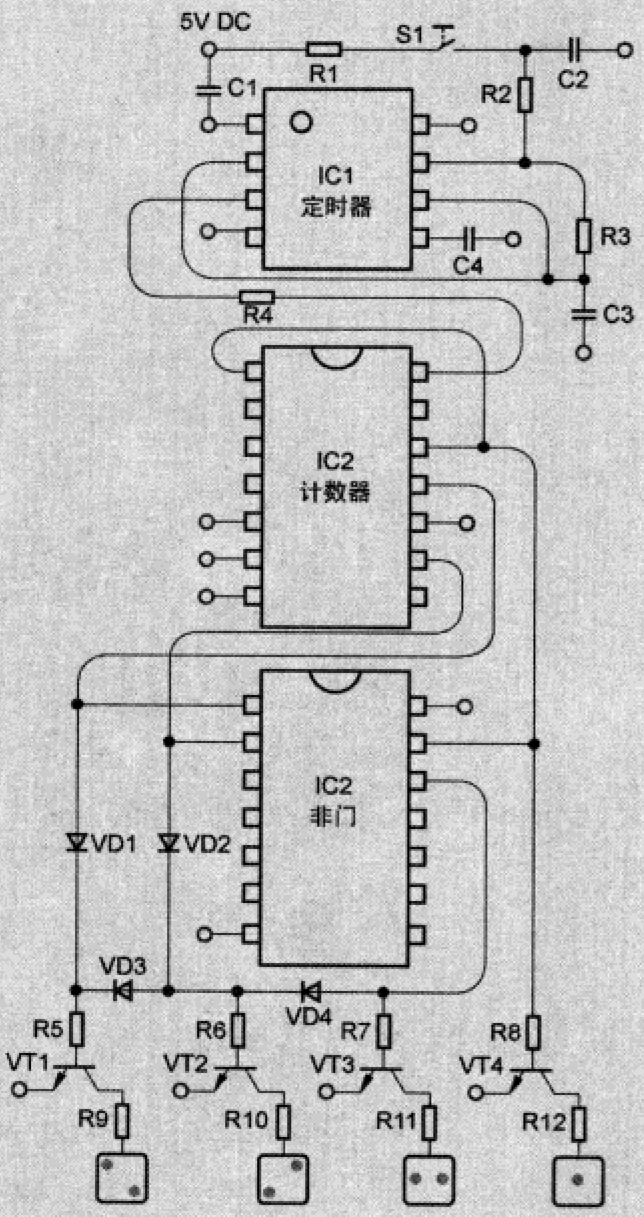
只有当计数器的3个输出都是0时，或非门才实现6个LED全亮的功能

图 3



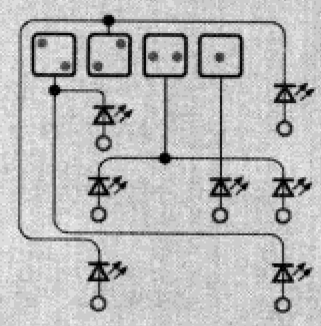
这个芯片内部有3个3输入或非门，每个或非门的3个输入是相同的。当且仅当3个输入都是低电平时输出才为高电平（低电平＝0，高电平＝1）

图 4



每一个指示骰子点的方块都需要连接到LED显示的相应方块上

图 5



7个LED灯按这种模式排列并连线，每一个指示骰子点的方块都需要连接到图4的相应方块上

LED小夜灯

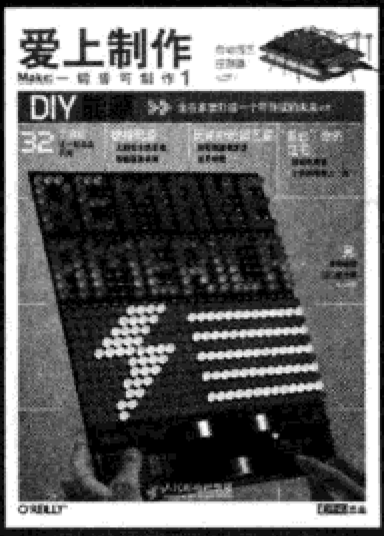
文/奥尔登·哈特
译/译言

发光小伴侣

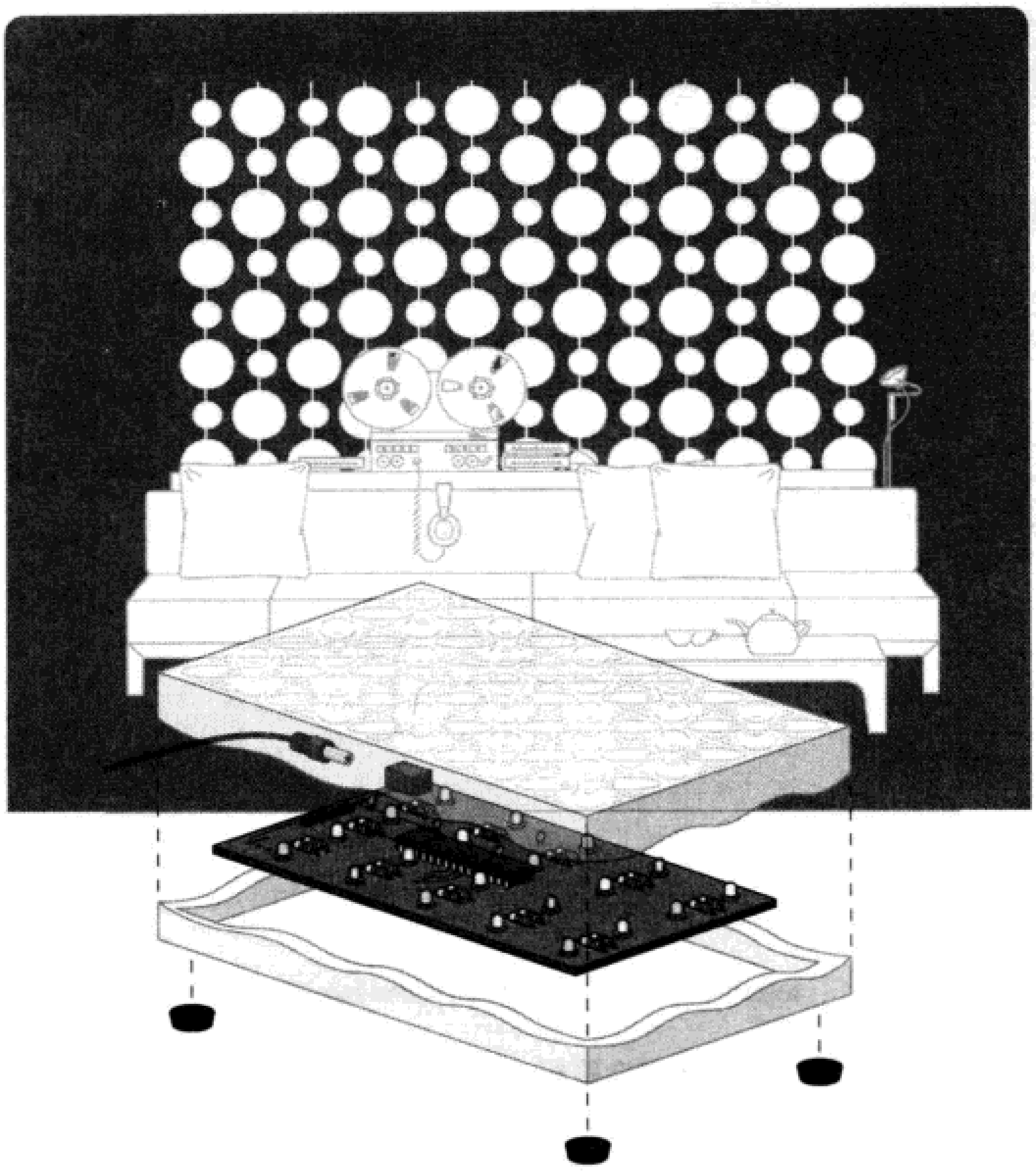
在夜里去厨房吃点心时有这样一个令人舒心的多彩小夜灯为我们照明。这样节能的方式让我们对夜晚有了新的体验。

LED小夜灯使用一款单芯片微控制器以多种形式驱动20盏LED小灯。整个电路被嵌在一个透明树脂盒子里，看起来更加生动，也很完备。这样的发光块总功率只有2W，持续使用寿命超过10年。

在一年内我送出了24个这样的东西，它们中的大多数从那时起就一直亮着，而且从来也没人跟我说出问题了。



摘自《爱上制作1》



认识芯片

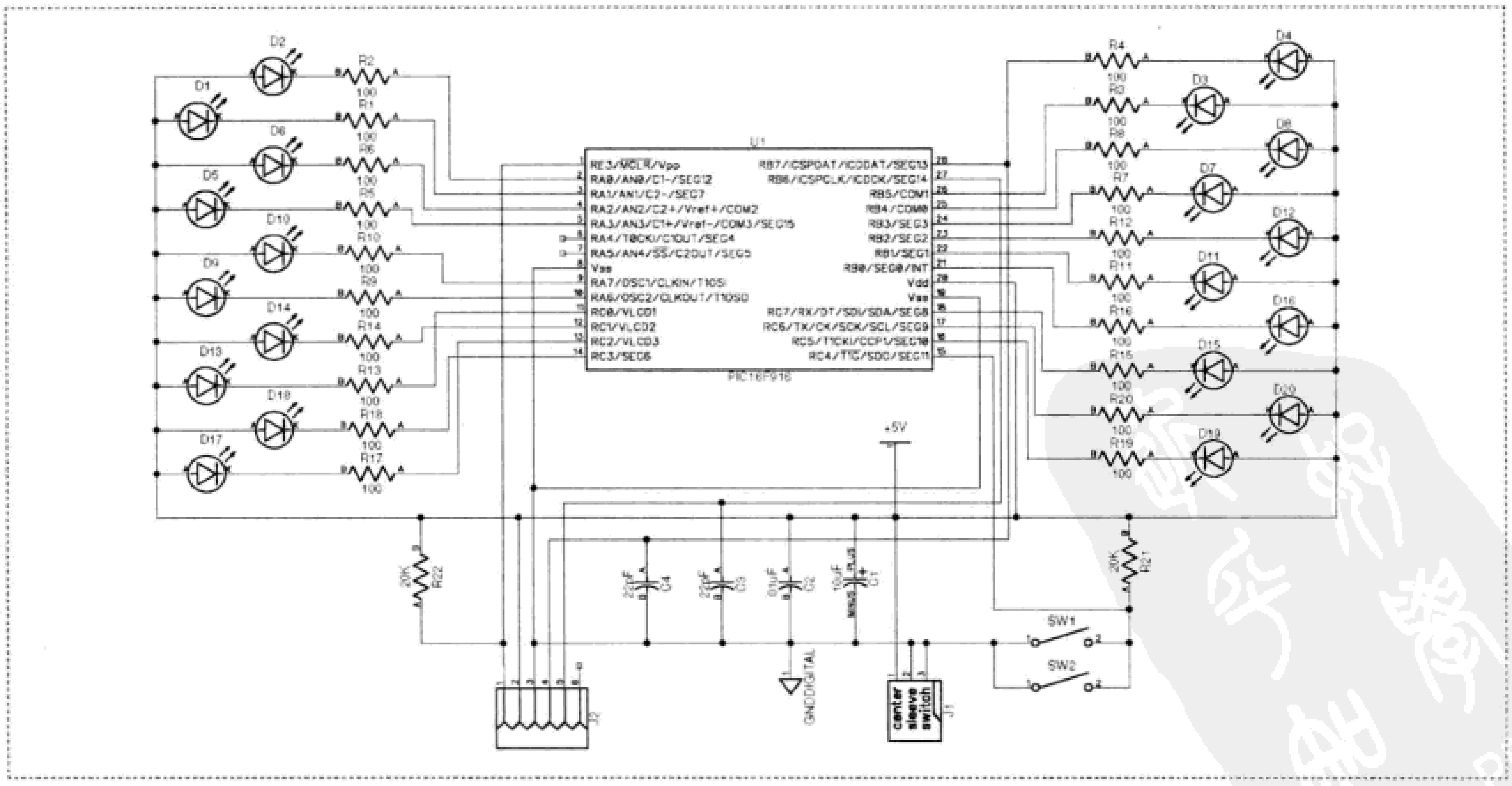
LED小夜灯的核心是一块使用PIC汇编码编程的单芯片微控制器（PIC16F916）。该芯片提供如下功能：

- 直接通过芯片的输出引脚驱动LED灯。
- 提供20个暗光通道——每个LED灯1个。
- 保存和运行照明方式。

印制电路板（PCB）上安装了PIC微控制器、LED灯、限流电阻器、直流电源连接器和一些其他零件。

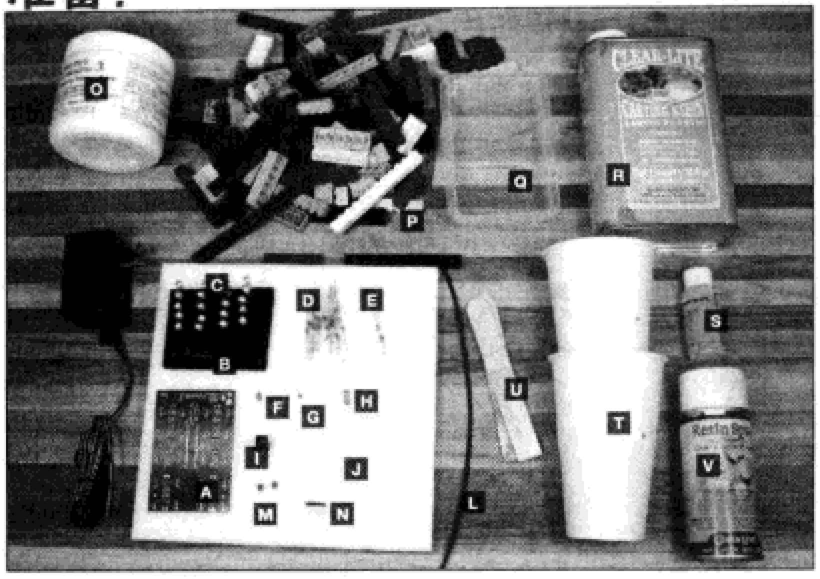
PIC芯片能够承载每个LED灯引脚上最多25 mA的电流。限流电阻器则用来将流经每个LED灯的电流限制为20 mA左右。还有两个退耦电容来消除电源产生的噪声。剩下的两个电阻一个是用于支持复位线以保证芯片运转，另一个则用于开关。

绘图：奈克·舒尔茨



（本电路摘自《爱上制作》原图，元器件符号未采用国内相关标准）

准备：



材料：

[A] LED小夜灯套件电路板或者通过CAD文件自己制作。上面两个都可以在makezine. com/18/lightbrick找到

[B] PIC16F916微控制器 在印制电路板和电路原理图上的标号为U1，从上面的链接中也可以找到

[C] LED灯，5mm，20mA，宽观察角，引线间距0.25cm红、黄、蓝、绿各5个，印制电路板和电路原理图上的标号为D1～D20

[D] 100Ω电阻，1/4W，5%碳膜20个标号R1～R20

[E] 20 kΩ电阻，1/4W，5%碳膜2个标号R21、R22

[F] 10μF钽制电容，16V，引线间距0.25cm标号C1

[G] 0.1μF单片电容，引线间距0.25cm标号C2

[H] 滚珠倾斜开关，引线间距0.25cm标号SW1

[I] 直流电源插口，内径2.1mm，同轴 标号J1

[J] 橡胶缓冲器4个

[K] 直流稳压电源插头，输出电压5V，电流300mA以上，内径2.1mm，外径5.5mm，中间为正极我推荐使用400mA电源，因为300 mA有时并不能满足使用要求

[L] 21 英寸长 14 号单股线 （选用）

[M] 22pF单体电容或陶瓷碟式电容，引线间距0.25cm（2个，选用）标号C3、C4

[N] 单排总连接器，6引脚，0.25cm（ICSP 连接器）

在成型时使用O和P来制作自己的铸模，或者使用现成的Q

[O] 硅有机树脂 RTV 造型系统，1磅硅有机树脂和 0.1 磅催化剂，TAP 塑料制品公司生产（tapplastic. com）。我的铸模用了全部 160 盎司，如果你设计的铸模更大的话，就需要更多的材料

[P] 乐高积木，用于铸型

[Q] 自释放聚丙烯铸模，体积为7.62cm × 12.7cm × 2.7cm比如Castin' 手工艺公司的MC-7，第48393号零件

[R] 透明轻质聚酯铸模树脂，454ml，TAP塑料公司有售（或树脂粘土）

[S] MEKP液态催化剂1.4ml

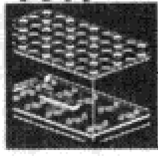
[T] 纸杯，340ml或454ml两个，用于称量和浇铸

[U] 搅拌棒2根

[V] 透明树脂喷漆（选用）Castin' 手工艺公司生产，用于覆盖不合格折贴（或选择油性透明漆）。

提示：完整的材料和工具清单，包含购买途径，铸模和树脂铸造介绍见makezine.com/18/ lightbrick。

制作



组装你的 LED小夜灯

开始>>　　时间：一个周末　难度：由易到难

制作LED小夜灯分3个步骤：装配印制电路板，制作（或购买）铸模，浇铸零件。整个过程一个周末就可以完成，每一步只需几个小时，有的步骤需要等待一段时间，所以总共算来至少需要两天并且有一夜用来铸造成型。整个过程按照难度不同有多种方式选择。

简单：将元件组装成电路板，使用现成的铸模嵌入丙烯酸树脂。

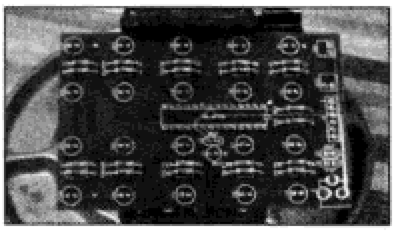
正常：将元件组装成电路板，然后自己制作铸模进行浇铸。

困难：自己为PIC编程来创造新的亮灯方式。如果还想更加高级的话，大家可以下工夫制作自己的电路板——这样可以改变电路板的大小和LED灯的数量。还可以直接飞线不走电路板。所有的材料在网上都能找到。

元器件、CAD图纸、固件和另外的文献见makezine. com/18/lightbrick或者查看我的网站tenmilesquare.com/light-brick。

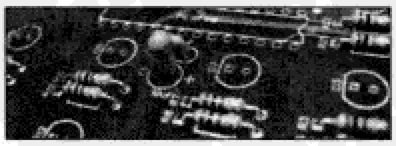
1. 组装电路板

第1步先确定印制电路板PCB的正反面。正面有丝印和元件指示图。反面则是大部分的线路。



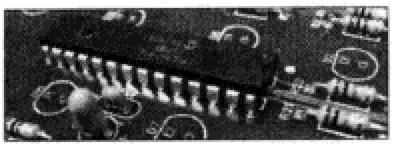
1a. 首先焊接电阻。R1~R20使用100Ω电阻，R21和R22使用20 kΩ电阻。电阻是不分正负极的，所以没有必要把电阻排好按照相同的色码顺序焊接到电路板上，当然你这样做也没坏处，至少看起来比较整齐。将电阻用蓝色遮蔽胶带紧紧地贴在电路板上，如果电阻没有安装到位，在胶带的下面会出现气泡。将电路板翻过来进行焊接。

如果有电阻松脱，加热后把它按回原位。焊接好后将接头处多余的引线剪去，最后撕去胶带。

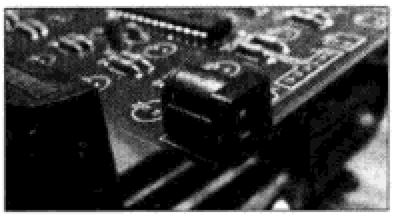


1b. 将电容 C1 和 C2 装到电路板上。钽介质电容器 C1 是分正负极的，必须按照指示图的方向安装到电路板上。正极的一头插入正极的孔，就是标志为方块的一头。然后贴胶布、焊接、剪引脚，和上一步一样。

1c. 仔细地将PIC芯片的引脚和电路板上的孔相对应，PIC芯片的引脚1（有缺口的一端）应指向R21和R22。小心地进行焊接，注意对每个针脚的加热不要过度。在焊接前要再三确认芯片的方向。



1d. 安装直流电源插孔J1。将底部的引脚稍微弯折以使插孔固定。然后将它焊接到和电路板边缘平齐的位置，使用大量焊锡把洞封住。



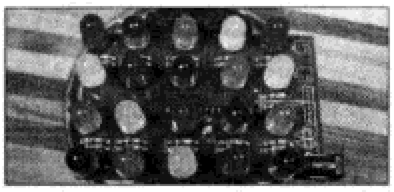
1e. 安装 LED 灯 D1~D20。编程对应的 LED 灯排列顺序为：

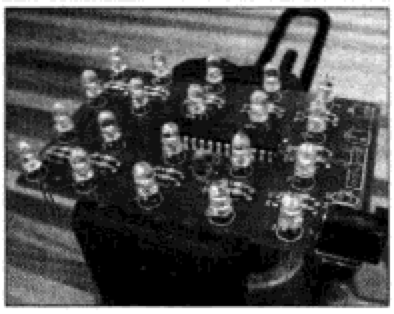
红 蓝 绿 黄 红

黄 红 蓝 绿 黄

绿 黄 红 蓝 绿

蓝 绿 黄 红 蓝

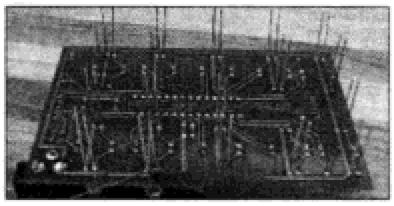




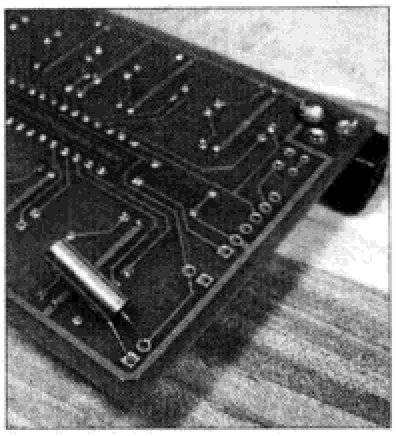
在安装前要确认 LED 灯是否能被点亮，颜色有时也可能和包装上的不符合。使用 LED 测试器或者直接将两个引脚安在 3 V 纽扣电池上测试。为了能够达到好的浇铸效果，LED 灯的顶端应该大致平齐，并且比电源插孔高。印制电路板上的孔是有大小之分的，所以标准 LED 灯的引脚会在电路板上面大约 0.3cm 处卡住。这样看起来也许有点紧，但是很方便。如果你的 LED 灯在那个位置并不能卡住的话，就得想办法弄一个填充物以保持高度平齐。将 14 号电线的一端剥去 1cm 左右绝缘皮用来当作填充物。将 LED 灯安装在电路板上然后和电源插孔比高度。在安装 LED 灯时要注意安装方向。长引脚是正极或称为阳极（A），插入标有圆圈的孔中。短引脚是负极，或称阴极（K），插入标有方块的孔中（记忆技巧：正圆负方）。如果在 LED 上有一点是平的那么那一极就是负极。

注意：这里电路板上的方孔标记和电容上的不同，正好相反。

1f. 将电路板反面朝上置于坚硬的平面上以保证所有的LED灯排在一起。焊接，剪去多余的引脚。使用钳子或镊子将置于LED灯下面的填充物取出。值得注意的是有共用线路连接了所有LED灯的正极引脚（有的LED项目会将所有的LED灯都接地）。



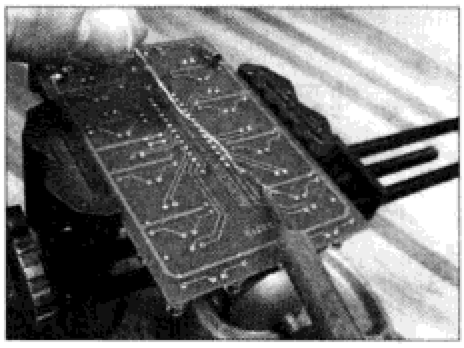
1g. 安装倾斜开关SW1。倾斜开关是通过轨道上的一个滚珠的前后滚动来开关电路的。这个开关为系统引入了用户输入，其效果相当于按下按钮或点击鼠标。倾斜开关是电路板反面的唯一元件。它没有正负极之分，如果你想通过将滚珠推回电源插孔的方向来打开小夜灯的话，开关必须按照图示的那样方向顺着电路板的背面安装。

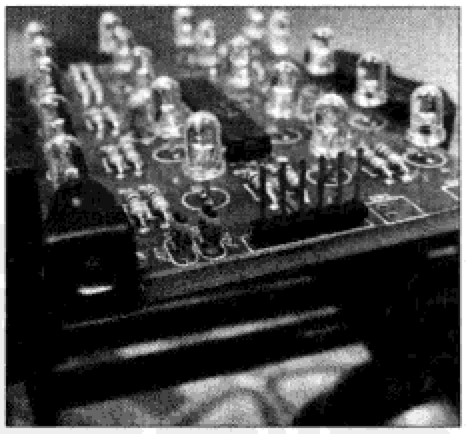


如果你想要这个方向，就把开关安装在电路板的背面标有SW1的开关孔上。在电路板和开关之间留出大约0.6cm的开关引脚。需要有足够的空间折弯引脚以确定开关的角度。如果希望开关就在设定好的方向上的话，直接将另一头固定在SW2上即可。

1h. 如果你打算为PIC内电路编程，那么就要再接上电容C3和C4以及编程端口J2。

1i. 先别急着通电，先看看PIC以及电路板上的其他元件有没有被焊错的（也就是焊接导致的短路）。使用干绳焊锡清除器移除焊错位置的焊锡（具体教程参见makezine.com/18/lightbrick）。



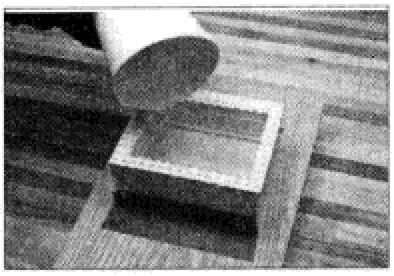


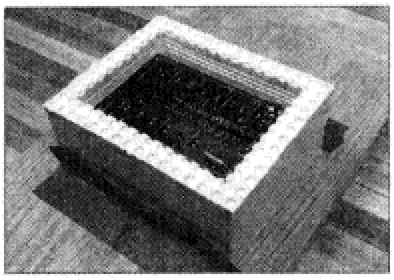
然后，取电路中的一部分进行测试。使用断路检查试验器或欧姆表来测试电源插孔的正负端（在电路板的底部）。

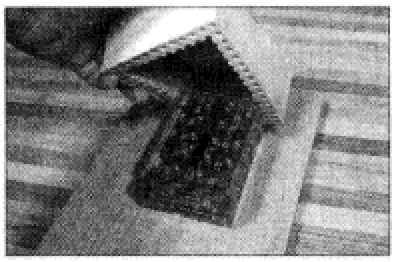
最后测试一下电源。电源插头的中间触点应该是稳定的5V，外缘接头接地。注意在测试时不要短接这些触点。电路板在4~6V之间能正常工作。PIC不能承受高于6V的电压，低于4V则是允许的。

如果电路板通过了如上测试，就可以正式通电了。如果电路板不能正常工作，可以在故障排除章节查看。只有电路工作正常了才能进行铸模。

2. 制作铸模和浇铸







在这里我们就不详细介绍过程了。详细的铸模和浇铸过程介绍见makezine.com/18/lightbrick。制作铸模最简单的方法就是购买现成的铸模，比如MC-7（见材料清单），体积是7.62cm×12.7cm×2.7cm，大小正好。

而我则倾向于我自己制作的铸模，空间更适宜外形也更有趣。我们的电路板适用于7.62cm×10.8cm×6.35cm的盒子，大家也可以制作任意形状和大小的铸模。不过要注意电源插孔必须和盒子的一面平齐。

当然大家也可以把电路板装入任何自己喜欢的容器中，不过我喜欢铸造容器的持久性和独特造型。

3. 收工

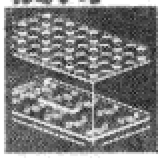
3a. 要有耐心，不要过早将铸件脱模，这样会毁坏铸件。根据制造商的指导上推荐的脱模时间进行操作。最好放一晚上不动或放更长时间。

在完全凝固后取出铸件。它应当是完全冷却并且很坚硬。树脂是由内向外凝固的，所以表面是最后凝固的部分。冷却的时间取决于混合原料的不同和周围环境，大约需要超过一天时间。其实也没有必要看时间，只要表面凝固了就不会有问题。使用小棒来测试硬度而不要用手指去按。想要加快凝固速度，可以将铸件置于灯光之下，不过要注意不要过分加热，也不要整夜开着灯，这一过程需要有人值守。

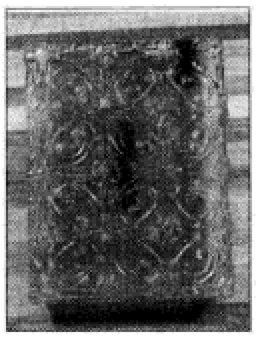
3b. 使用镊子把胶带从电源插孔上剥下来。如果难以分开就用小刀去割。

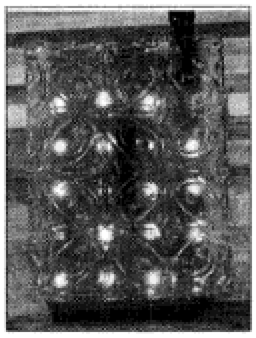
3c. 最后，在铸件凝固时，收尾阶段也要小心再小心。此时很容易印上指纹或者因为灰尘留下小坑的痕迹。触碰时尽量在边缘上。最好能用蜡纸将其罩住继续进行凝固过程。注意不要让蜡纸触碰铸件表面，否则会留下印记。也可以使用喷漆为铸件表面加上一层保护层，不过这有可能会使表面模糊，使用时小心。

3d. 在底部安装缓冲垫片，完工。

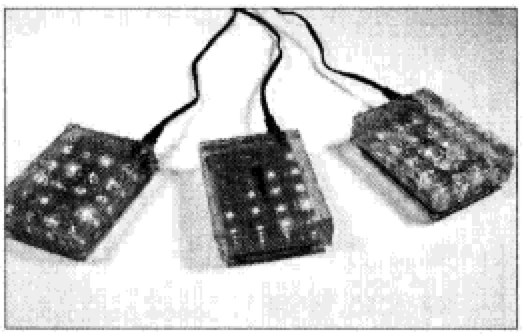


使用 点亮你的 LED小夜灯





现在插上电源来让它运转吧！使用倾斜开关使发光块在关闭和波浪、变色、慢速和快速4个不同的照明状态中切换。



发现并修理故障

如果在测试时发现发光板不能正常工作（当然是在封装电路之前），进行如下检查：

» 确保所有的引脚都穿过了电路板上的孔，并检查PIC芯片的引脚是否被弯折。所有的引脚应当都可以在电路板的底部看见。

» 检查电路板底部，确保所有的连接处都焊接好了。

» 检查电路板上的元件C1、U1和D1～D20的正负极是否连接正确。

» 检查电路板是否被焊接短路。

» 检查输入电压是否在4~6V之间。使用电压表、欧姆表或者万能表进行测试。

» 检查电源插头中间触点是否为正电。

» 检查电路板的线路是否有短路时只需测试电路板底部的正负端即可。

如果有的LED灯亮着而有的没亮，尝试进行如下操作：

» 单独测试LED灯，在LED灯的引脚上接纽扣电池来测试。

» 然后，使用伏特－欧姆表测量LED灯负极和PIC针脚之间的电阻，大约为100Ω。对照电路原理图查看线路是否有差错。

资源

材料和工具清单、CAD设计图、电路原理图、铸模和浇铸介绍见makezine.com/18/lightbrick。

连接LED灯，见makezine.com/go/led2。

飞线示例见instructables.com/id/3x3x3-LED-Cube。

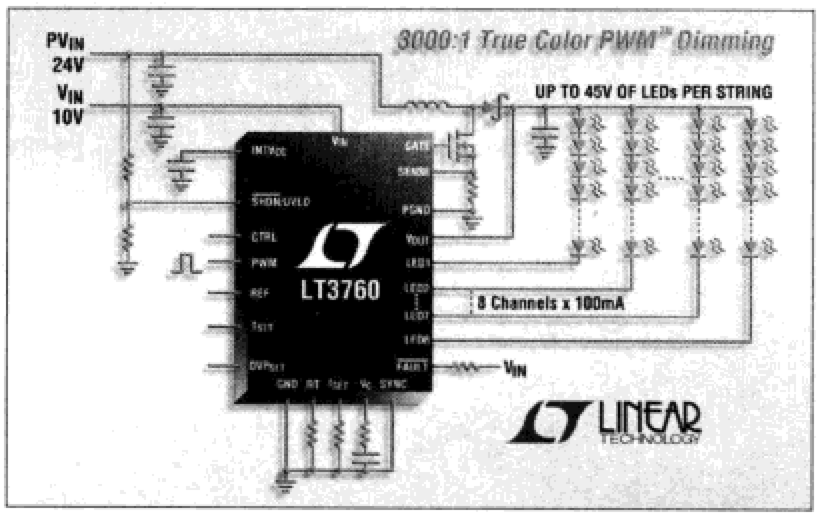
移除桥焊视频教程见makezine.com/go/solder。

感谢丹尼尔·克劳森帮助我们进行项目测试。

凌力尔特公司推出8通道LED驱动器LT3760

凌力尔特公司推出 8 通道 LED 驱动器 LT3760，6~40V 的输入电压范围，可以驱动 8 个通道，每通道可以串联10 个 100mA 白光 LED，通过内部DC转换后LED串的两端电压最高可达45V，还可提供超过 92% 的效率。同时，该芯片具有 3000:1 调光比的True Color PWM™调光，还具有LED串开路报警等功能。适用于TFT-LCD 背光、汽车、航空电子设备、HDTV等照明应用。

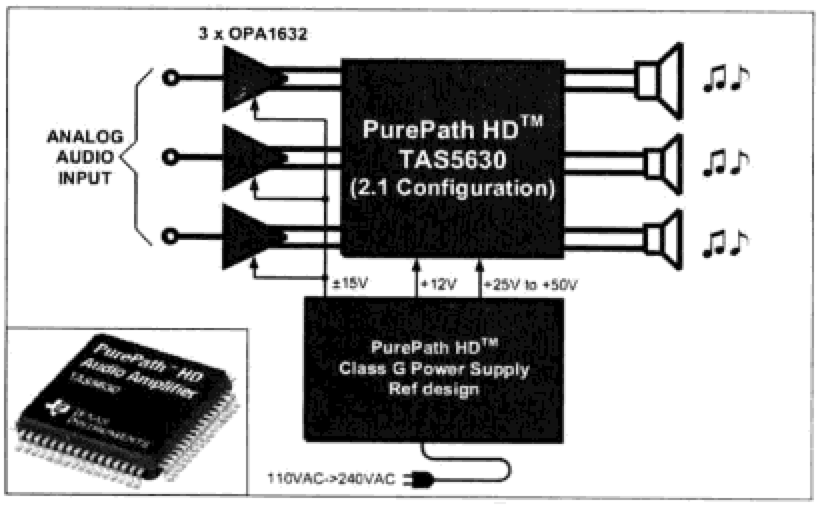
登录凌力尔特公司官方网站：http://www.linear.com.cn/可申请免费样片



德州仪器推出全新D类音频放大器TAS5630与TAS5631

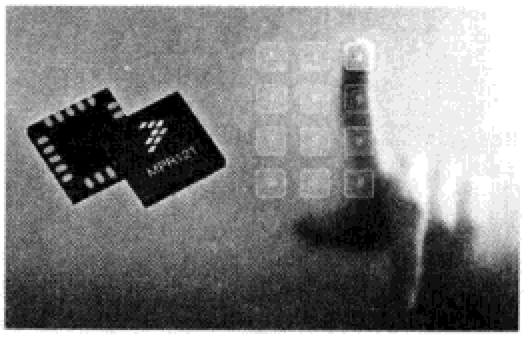
德州仪器（TI）推出全新D类音频放大器TAS5630与TAS5631，其功率可高达600W，是业界立体声输出功率最高的产品，提供各种模拟与脉宽调制（PWM）输入选项。内建PurePath高清技术，音频带宽超过73kHz，支持蓝光家庭影院系统等应用，可实现高清媒体播放功能，整个频率范围内的低失真可实现丰富自然的音效。高功率集成放大器也将是未来家庭多媒体设备的使用趋势。

登录德州仪器官方网站：http://www.ti.com.cn/可申请免费样片



飞思卡尔推出第二代触摸感应控制器MPR121

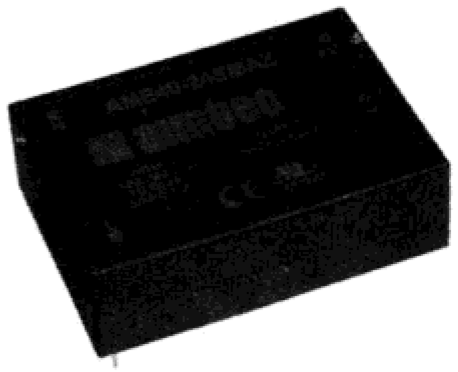
飞思卡尔推出第二代触摸感应控制器MPR121，是继MPR03x 系列器件之后的新一代触摸感应控制器。该芯片配备了飞思卡尔的第二代电容检测引擎，增加了感应电极数量，可多达12个电极，其中8个可以用于驱动LED，并且电极内部参数配置是独立的，硬件可配置 I²C 地址，带有去抖动功能的扩展滤波系统，采用IRQ中断输出来通知电极状态的改变。为满足更直观的用户界面的需求，目前的技术趋势是从电阻式触摸传感器向电容式触摸技术快速转换。



登录飞思卡尔官方网站：http://www.freestyle.com/可申请免费样片

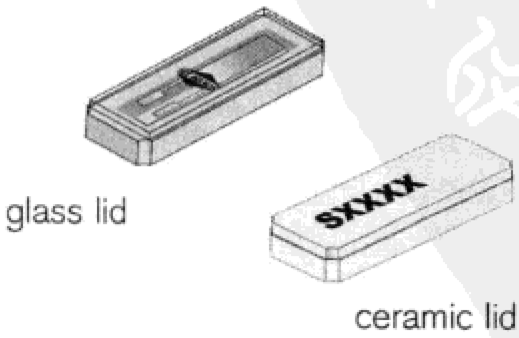
Aimtec推出新型AC/DC转换器

Aimtec 推出 AME40-xxMA 系列 AC/DC 转换器。尺寸为 90.5mm×6 mm×30mm，输出最大电流可以达 8A，输出电压最高为 24V，输入电压范围为通用的 90~260Vac，以及 120~370Vdc。该器件具有 4000V 的 AC 隔离，工作温度范围为 -40~85℃，漏电流为 150μA，纹波和噪声低至 50 mVp-p，具有短路保护以及自动恢复功能。



Statek公司新推微型晶体CX11系列

Statek公司新近推出微型晶体CX11系列，其尺寸仅为3.2mm×1.50mm×0.90mm，如此小的尺寸适合用于人体内医疗遥测领域。该晶体的频率范围为20~250MHz，在工作温度范围内具有严格频率稳定性。同时也提供32.768kHz 频率以及 100~180kHz的频率范围供使用者选择。



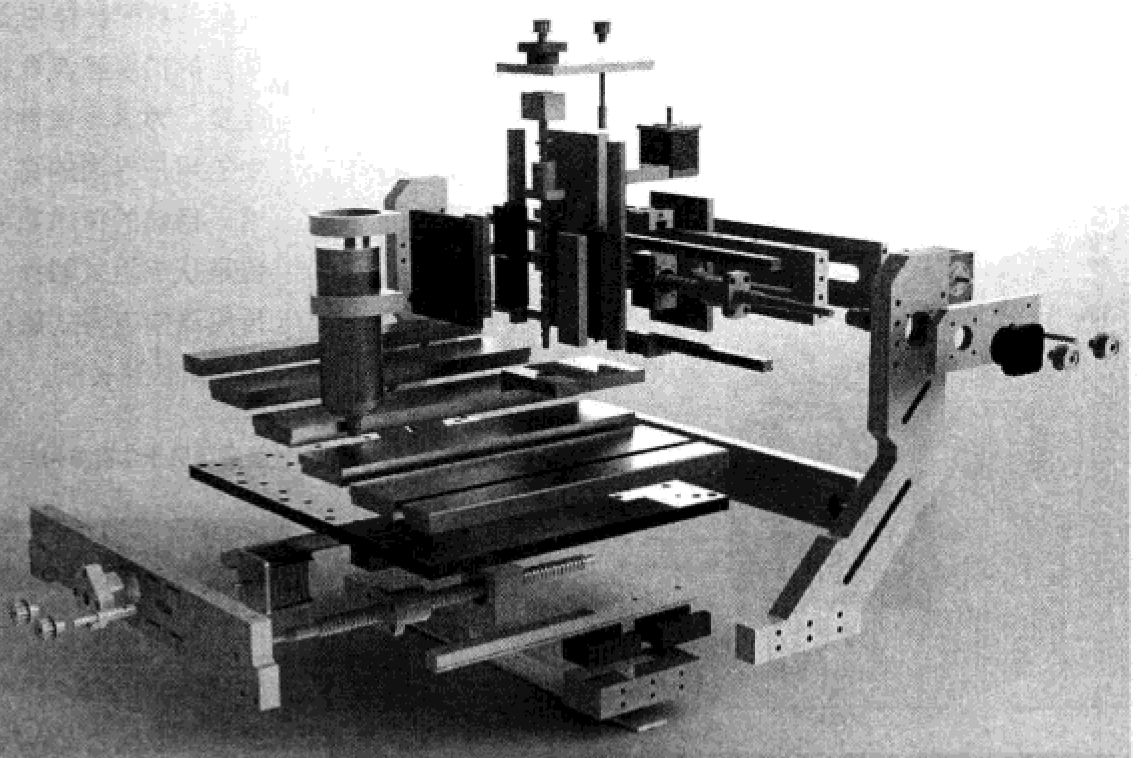
PDG

编者按：提到雕刻机，大家会想到工作起来“咔咔”作响的广告雕刻机、木工雕刻机、石材雕刻机，或者近年大量涌现的工业用大型数控雕刻机，那是制造行业里常见的设备，专业性强，沉重的机械、精密的电子控制，个人爱好者似乎不容易接近。可是，近年来“雕刻机爱好者”频频出现在各大电子爱好者论坛中，他们爱好机械、爱好电子，拥有甚至 DIY 自己的雕刻机，并热衷用这种机电结合的设备来实现自己的作品设计，无论是雕刻一块 PCB，还是完成一件工艺品。这项爱好的关注者在不断增多。

雕刻机能干什么？它到底有怎样的魅力，爱好者眼中的雕刻机是什么样的？本期专题，我们邀请了几位雕刻机爱好者来为我们揭开雕刻机的“面纱”。

我心目中的CNC
——什么是雕刻机

◎李开宇



当我是个学生的时候，用我这健全的十个手指头就能把机械设备的名称数个遍了，当然这里我所指的是机械设备中的主力，例如车床、铣床、磨床等。毕业不久我发现我这十个手指头太少了，恨不得变成千年老妖，拥有无数的手指，因为在机械这种工具远远不是那“屈指可数”的程度。

地球人都知道，动物中也就人类掌握了一门绝活儿——工具，这个能耐让咱们在地球上当上了老大。如果把工具换个角度，比喻成武器的话，可以套用名人名言——枪杆子里面出政权，因为从某个角度看来，人类因此统治了地球嘛。英国媒体认为，每一次成功对工具的革新都会带来人类社会整体的发展进步，至今人类一直都没有停滞对工具的发明和创造。

1982年，我还是个穿着开裆裤的孩子，但记忆特别好。每个童年的男孩可能都爱舞刀弄枪，常常拿个木头棒子满街冒充孙悟空。棒子敲敲打打免不了会断掉，泪珠从脸颊上往下掉，没来得及擦干就委屈地找爸爸给我重新弄一个。第二天，爸爸带回一根又圆又光滑的木棍，昨天我还撇着嘴勉强睡着，今天我却开心得恨不得把嘴巴咧到后脑勺。我随口问爸爸这么漂亮的“金箍棒”是怎么做的，爸爸简单说了一句：“是车制的”，他话音还没落，我压根也不在意答案，就抢过这根“金箍棒”出去找“妖精”去了。这也许是我记忆中第一次听说“车制”这个词。虽然年代久远，可这也许可以算是我与机械加工的第一次接触吧。

参加工作后，我先后接触到各类机械设备。最常用的无外乎铣床、车床、磨床等。虽然从书本、杂志上偶尔看到关于自动加工中心、自动车床等的字眼，但听闻总是那么不经意。偶然的机会，单位安排我走进了某个公司新引进的设备，自知“井底之蛙”的我终于长了见识。印象中脏兮兮的车床如今却是时尚的外表，科技感的操作界面，再也不是那圆头圆脑的样子，昔日手轮上的刻度线已经转至床头上方的数字显示系统中，侦测精度高到令我惊叹，旁边立着电脑机柜，没错，我肯定这是台数控车床。走到另一个机位，从围观工人的缝隙中，我看到一台怪异机床，被方方正正的冲压钣金件包裹住，里面微微作响。我心想，这是什么怪机械？走上

前透过正面拉门上的小窗口往里一看，心跳马上飙升，呵呵，里面居然正在自动加工金属工件。听厂里的人吹嘘说，这就是号称世界第一台CNC机床的后续机型，也叫三轴电脑数控铣床。

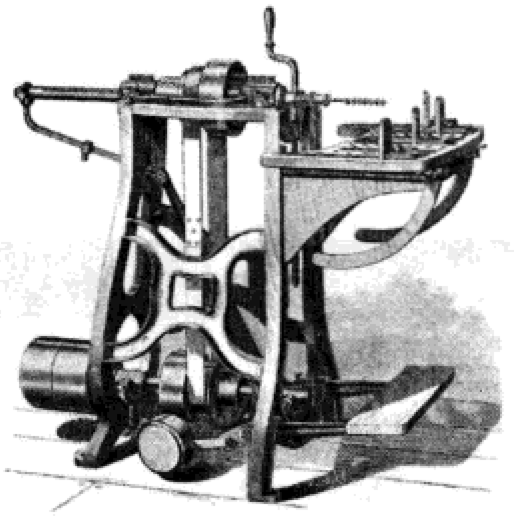
从那以后我对这些机械设备产生了浓厚的兴趣，带着这种兴趣和新知，凡遇到相关的历史和现状都想看个究竟。希望在我“屈指可数”的世界里增加更多有趣的内容。

传统的车床、铣床的用途是有所区别的。但操作方法和原理相类似。听老师傅这么描述过，工件转而刀随切，就是车床。立刀转而件被切就是铣床。虽然这样的咬文嚼字有点土，但也算浅显易懂，总比书本上一个个生涩的专业术语容易理解得多。

关于车床

车床源自中国最古老的工匠，听说是鲁班大师的发明。那时候的中国人，相当聪明，个人估计是当时古人不用贷款买高价房子，工作压力也不大，有闲功夫去琢磨点发明创造。古人说，工欲善其事，必先利其器。鲁班大师为了得到圆柱体结构件，设计用手拉或者脚踩一根线来回旋转的机构让木块旋转，在旋转工件的周围放上一把小刀用来切削旋转中的工件。随后的人们用同样的技术对石、玉、金属等进行切削，从而可以得到较为光顺的、有一定精度范围的零件。而当时的技术和材料的限制，往往导致所加工零件的结构不合理，体积也很笨拙。

相比手拉绳索做动力，达芬奇发明的由水车和脚踩作为动力的镗床就先进多了，他用刀具紧贴着工件旋转，工件固定在用杠杆带动的移动台上，可以轻松镗削金属，之后在1540年的另一位画家的《火工术》作品里也有同样的记载，画里的机器结构和达芬奇的一样，主要对铸造件进行精加工。

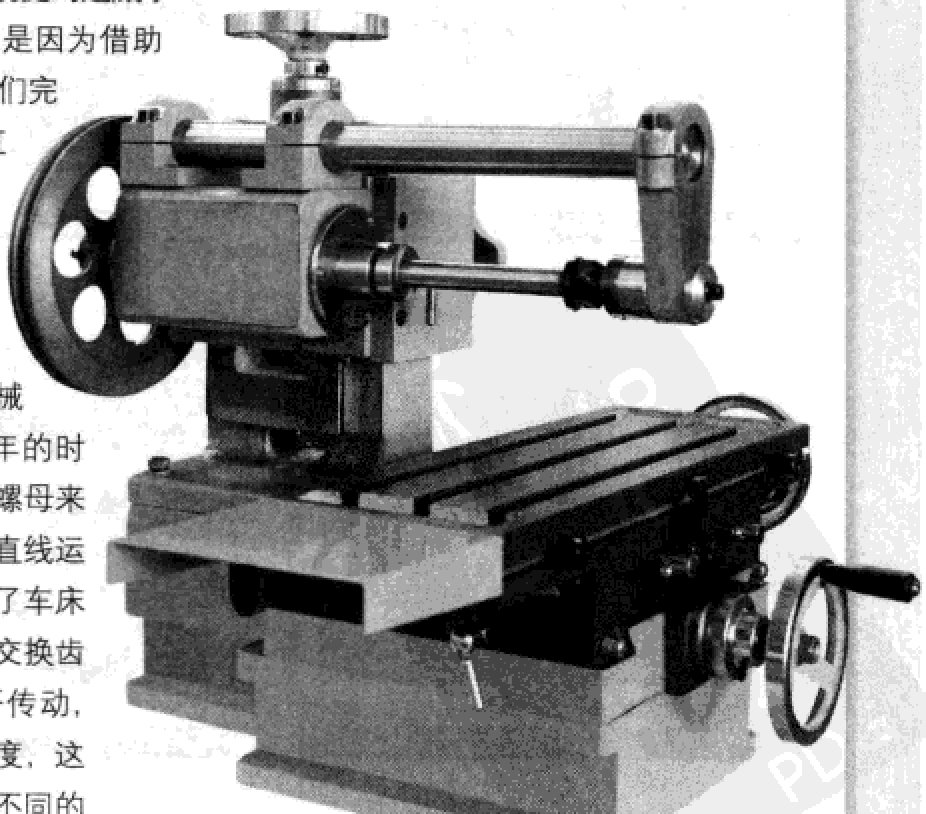


脚踩为动力的镗床

工件转而刀随切，就是车床。立刀转而件被切就是铣床。

到了18世纪，因为军事需求，迫切需要高精度的加工方法。1775年，一个叫威尔金森的美国铁匠，在他父亲的工厂里制造出一台精度很高的大型钻，其原理跟达芬奇的结构大同小异，也是用镗孔的方法，可以用于制造高精度的大炮等武器。这个发明影响深远。威尔金森没有给自己的发明申请什么专利，也许那年代没这个意识吧。后来的人们广泛“山寨”了这种机器。就连瓦特也做过它的“山寨版”，在瓦特的书中就提到过威尔金森的这个发明，正是因为借助这台钻床的帮助，人们完成了高精度的汽缸缸体的制造，结合前人对蒸汽机的探索最终发明了现在意义的蒸汽机。

其实，英国机械师莫兹利早在1778年的时候就曾利用螺丝杆和螺母来传动刀架，使之进行直线运动，用这个装置改良了车床结构。后来他又通过交换齿轮，同时利用螺丝杆传动，改变刀架直线运动速度，这样就可以车出螺纹和不同的螺距了（早期的螺丝杆是手工制作的），嗯～这哥们挺聪明。到了1801年，车床的结构已经基本成型，更大型的车床相继被制造出来，车床制造的逐步成熟为后来工业革命中的蒸汽机应用打下了基础。



卧式铣床

从这里可以得出结论，车床是机床之母。而这时的车床动力还很简陋。在1834年随着德国的雅克比发明了直流电机之后，电机改变了机床的动力来源，告别了手、水、蒸汽等古老的动力源。接着，在1845—1848年间，美国人在这个基础上又发明了转塔车床和回轮车床。总之，在车床科技发展史上，英、美、德等国的发明者们是够活跃的。

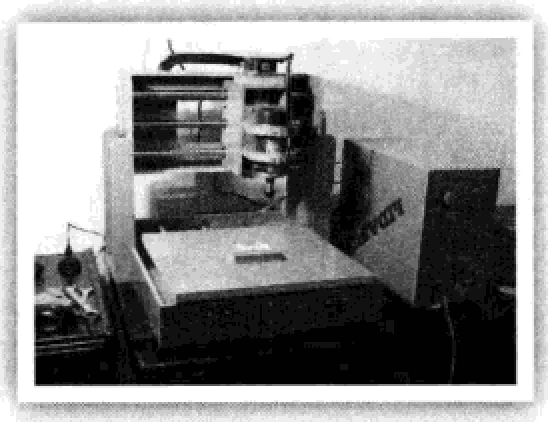
工业革命的进步和产能的需求，在第一次世界大战后期，车床技术日益完善，精度也越来越高，车床种类根据用途增多也日益繁多。

车床可谓是机床之母，它不但可以在军工方面大有作为，例如像枪管、轴、螺丝、圆柱、圆锥、齿轮等工件，还有先前说到我童年手中的“金箍棒”也是车床的作品。这些传统的车床结构主要是以手摇摇杆，操

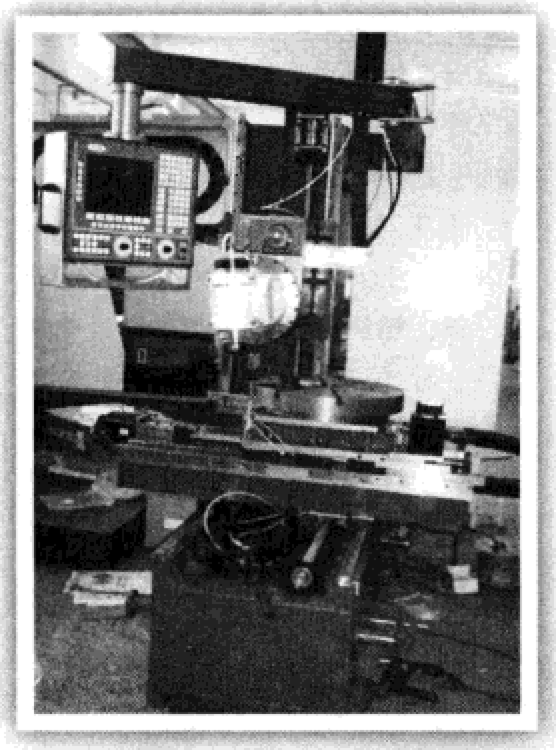
TIPS1

爱好者DIY的雕刻机一览

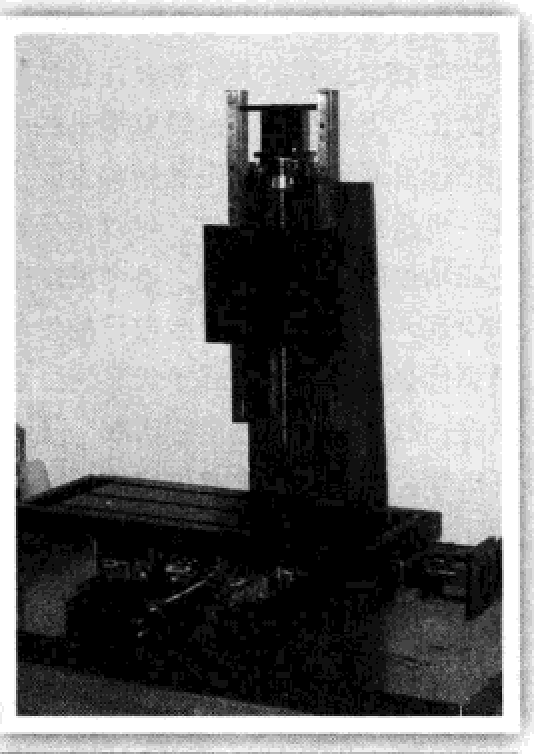
商业化的数控加工中心、雕刻机的售价都很昂贵，往往令普通的爱好者望尘莫及。从2004年开始网络上陆续出现一些爱好者的雕刻机DIY作品，本文中我们一起来分享一下。



网友林大夫用PVC板材制作的龙门式雕刻机

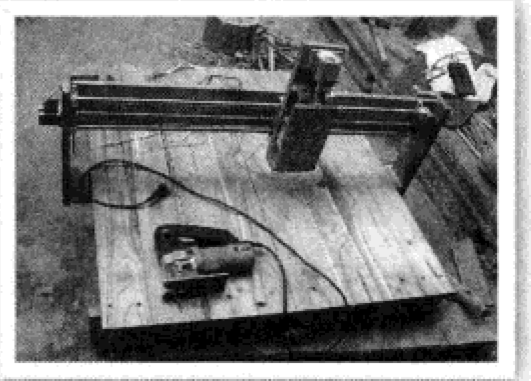


网友Qbasic的五轴雕刻机制作中



网友BAXK制作中的移动工作台式雕刻机

网友RV制作的移动龙门式雕刻机



网友湘西娃用木头制作的机架

作布置在纵向和横向两个轴上的托台，靠卡尺和人眼进行测量，由安置在托台上的车刀，对装在主轴卡盘上的工件进行切削。既然是手动的，自然效率相对低些。在科技进步的今天，车床也发展多种多样，自然少不了数控化全自动车床，产能更大，精度更高，而且是全自动化操作。

关于铣床

美国人惠特尼在1818年创造了卧式铣床。这个时期的美国、英国人的发明，冒泡的确实比较多。那时的伟大中国智者们忙着给子孙开创新天地，没这么多闲工夫去搞发明创造，呵呵。

言归正传， 1855年美国斯顿发明了炮塔铣床，1862年美国布朗发明了第一台万能铣床，短短的几十年间，铣床的发展接近完善，这两种铣床就是现在的铣床雏形。当然铣床的结构还有其他几种，其中包括龙门铣等，但原理仍然没变。

铣床的大概原理是从车床上演变来的，以我的理解是，车床旋转的是工件，而铣床旋转的是刀具。铣床*X*、*Y*两个轴向的运动原理不变，在铣床的三维空间里，相对*X*、*Y*轴的正上方定义为*Z*方向，在*Z*方向装置一个动力的刀头，用钻、削、铣、磨、镗等方式，对装夹在*X*轴上的工件进行切削，*X*、*Y*方向做直线运动，最终实现工件的加工切削。其实更通俗的解释是，*Z*轴可比喻成一支笔，我要在纸上做画，让纸来回移动。只要让笔做抬起落下的动作，就能在纸上写字了。

关于CNC

1950年后，也就是二战结束后的那些日子里，技术进步神速。在20世纪60年代，单片机控制（NC）系统的发展和应用速度非常快，工业产业对机械加工精度、产能也提出了更高

的渴求。特别是20世纪70年代以后，又出现了微处理控制技术和计算机技术。对于机械设备而言，应运而生的就是电脑数字控制的机械设备，逐步替代了以往手工操作机械动作，这就是CNC。

CNC是Computer Numerical Control的缩写，是电脑数字控制的意思，从字面很好理解。在机械数控的早期，程序部分是用单片机来实现和执行的，也叫NC。电脑软硬件的发展造就了现在的CNC机床。机械制造行业内用CNC标识的设备较多，而部分人认为CNC就是指电脑数控铣床，有人也称“电脑锣”，其实这是个习惯的称谓，并不正确。CNC是种技术，通过它可实现电脑数据与机械设备之间数据循环传递，多轴联动。车床、铣床、磨床等机械设备都可以通过电脑控制实现高精度控制，所以CNC是个技术名称，而不是指某种铣床或车床设备。它也是今天和未来机械设备技术发展的趋势。

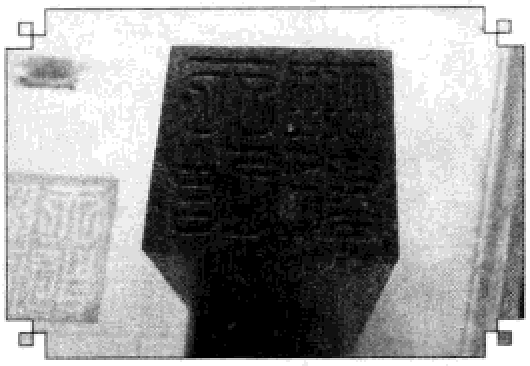
从CNC机床的精度上来看，国际上高端核潜艇上用的螺旋桨推进器，第四代战机零件，大多就是用高精度的大型五轴CNC（五轴数控铣床）制造出来的。无论人们手工再怎么仔细，也无法直接造出一次成型而且如此高精度的三维零件。至今，超高精度微控技术还是各国的保密项目，各国相互间也有所保留。

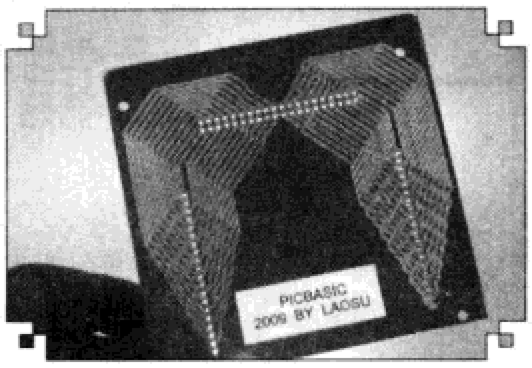
从运用角度上来说，军事、航空、科研、汽车工业、模具制造、家用电器，CNC的运用是五花八门。可以说，CNC是这个时代的标志。而近期全球刮起的机器人风潮，其实也就是CNC技术的一个代表。CNC还在向矢量控制和生物控制学方面发展。

CNC到底是怎么驱动机械设备的呢？如何实现从软件到硬件的操作呢？我以一个简单的雕刻机为例来说说吧。

TIPS2

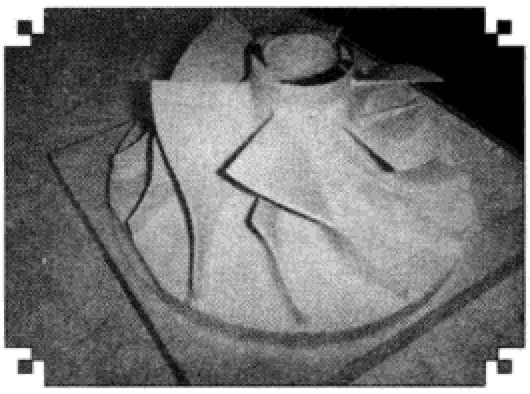
雕刻机爱好者的作品


网友宽哥雕刻的梅花玉印章



网友老苏雕刻的PCB

网友RV制作的龙凤浮雕


网友Qbasic五轴雕刻机加工的叶轮模型

首先是机械部分。雕刻机最少有3个方向运动的轴，先前解释过的一支笔在纸上作画的机械原理，这里再啰嗦一下。*X*、*Y*、*Z*三个坐标轴，其中*Z*代表一个主轴电机，它可以装载一些钻头、铣刀、量具等，这就像是那支笔。*Z*轴顶端安装了一只可以控制转距角度的步进电动机作为驱动（驱动的选择还有伺服电机和气动等，这里不再详述）。电机通过同步轮或联轴器的链接使丝杆传载动力到螺母，螺母则固定一个基准工作面。这个结构稍作布局就可以使*Z*轴进行垂直运动了。*X*、*Y*的驱动和传动与*Z*轴基本一样，最终实现横向、纵向的平行直线运动。它们的组合称为三轴。

可想要最后实现CNC，首先要得到丝杆的物理数据。例如丝杆直径和螺距以及行程，步进电机的旋转角度（转矩），然后输入程序，设置细节的参数。我们常见的小型雕刻机因为被加工工件的体积往往都是平面、板材类的，机械形态以固定龙门式和移动龙门式的比较多，也是比较容易实现。近年，大部分商业小型雕刻机和广大网友DIY得较多的都是这一种形态，因为加工强度要求不高，所以体积不用做得很大。

最后，CNC中不可或缺就是用计算机绘制工件图纸，生成二维或三维文件，利用软件或手动编程生成刀路程序，最终交给雕刻程序自动执行。相对机械部分，这部分有点难度，现在数控刀路设计的技术人员往往是供不应求的。

这是我作为一个雕刻机爱好者，对雕刻机的理解，写成文字与大家分享。雕刻机带给我们的，不仅是技术、产品，更是梦想。无论将来的技术怎么突飞猛进，都离不开一颗螺丝钉，离不开每一个发明创造者的奇思妙想。

认识数控雕刻机
——机械篇

◎asiandiy

一个简单的数控雕刻机主要分为机械部分和电控部分，本文中我们主要来了解一下让雕刻机爱好者“中毒”不浅的机械部分。

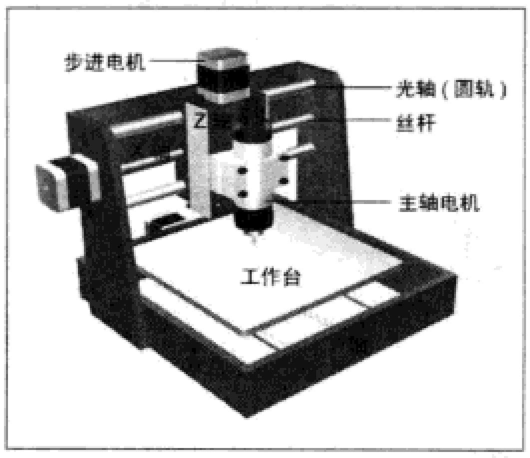
机械部分作为整个雕刻机运动和工作主体，首先要强调的就是结构的刚性。只有自身够结实，才能很好地胜任雕刻需要。雕刻机主要有龙门移动式和工作台移动式二种结构，在业余条件下，工作台移动式的结构更适合DIY，也更容易获得良好的刚性。

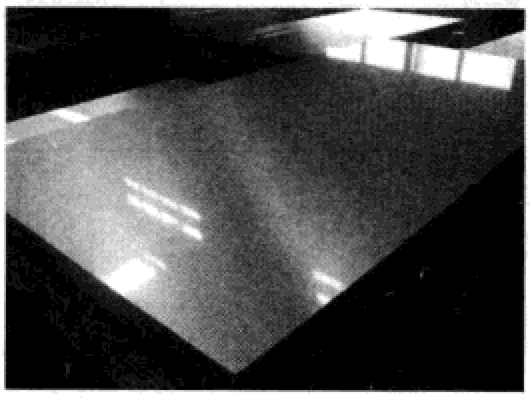
机械部分从整体来看就是*X*、*Y*、*Z*三个传动滑台加一个主轴电机，从功能上划分主要分为以下几个单元：

机架单元

机架就是雕刻机的框架，其他单元都是依托这个框架得以实现其功能。在业余条件下DIY一台雕刻机，根据自己的实际应用需要和加工能力选择合适的机架材料是非常重要的，选择是否得当也可以说是整个雕刻机能否DIY成功的一个主要因素。

目前，从加工便利性和使用广泛性来看，塑料板、铝合金板、钢板三种居多。总体来说，如果只是做一个玩玩，了解一下数控的概念或为了学习实践相关软件，使用塑料板来制作雕刻机的机架是不错的选择，因为材料易加工，无论是自己切割还是外协都非常方便，比如亚克力、PVC、赛钢板等都可以选用。但要注意的是，这类材料最易受温度变化而变形，所以精度保持度很低，机架的拼装固定主要靠胶粘和螺钉，所以强度较差。当然，这同时也是其优点，特别像PVC，





铝合金板

材料便宜、加工容易，一个小雕刻机的材料和加工费只需100多元。

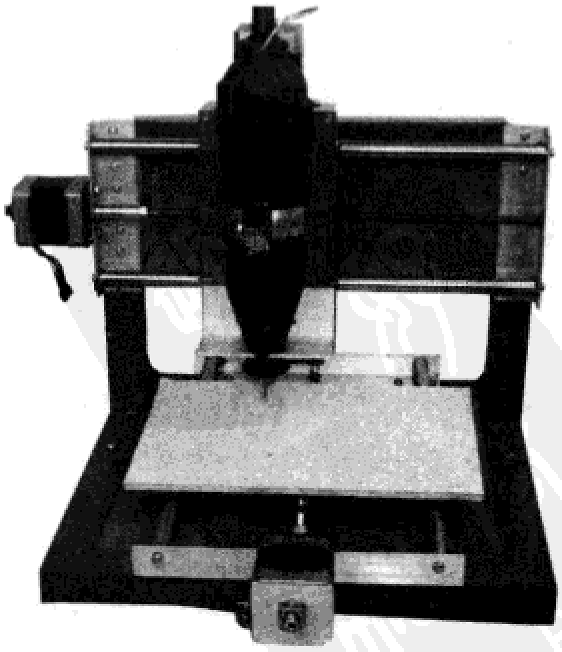
如果有比较方便的加工设备或加工条件，选择铝合金材料做雕刻机的机架是最佳的选择，可以做出重量轻、强度大、精度更高、加工制作相对容易的机架。但要注意的是，铝合金材料种类极其繁多，价格更是从20~60元不等，要注意选择适合进行机械加工的铝合金材料，我们可以通过咨询加工店来了解什么类型的铝合金最合适。通常加工适合性越好、强度硬度越高的铝合金价格也越贵。

很多人可能会想，钢材很便宜，强度也更好，为何不直接用钢材呢？这是要根据加工条件来确定的。现在的加工费用比材料贵很多，所以易加工才是我们DIY选材的首要考虑因素。钢材单看是便宜，但其比重大，所以同样的机架，钢材的总体费用不会比其他材料低。加工费用更是远高于其他材料。当然如果自己有合适的加工途径，或对刚性有更高要求，选择钢材作为机架材料也很好。

主轴单元

主轴通常指用来执行雕刻工作、要与被雕刻材料进行亲密接触的动力电机，高速旋转的电机带动雕刻刀具在被雕材料上进行旋转铣削。主轴是整个机械部分中第二个要重点考虑的单元，一个雕刻机的雕刻精度和雕刻效率如何，就看主轴电机的选择了。

根据不同的雕刻应用需要，从几十元的小电磨到数千元的专业主轴电机，选择范围还是比较广的，但如果是在家里用，既要考虑噪声大小，又要考虑性能，还要考虑成本，那么实



网友捷捷在雕刻机上用电磨做主轴

滚珠丝杆（明浩摄）

联轴器

际可选范围就很小了。

常见的小电磨从几十元到几百元都有，性能区别主要表现在精度（即装上刀具后的径向跳动）、夹头方式以及功率上。专业点的主轴电机常用的是水冷变频主轴，需要配套变频器来使用，但这类主轴体积普遍较大，价格至少也要一二千元，因此在大部分业余DIY的雕刻机上因为体积等原因无法使用。在业余条件下DIY时，比较多见的是采用较高转速的直流有刷电机当主轴，即在直流电机的轴上装一个夹头。

在DIY雕刻机时，主轴电机的选择主要考虑所要“雕”的材料需要的功率、精度和可以接受的噪声等因素。其中最主要的是精度问题，即夹持刀具后转起来时，刀具的径向跳动情况，这决定着你的雕刻精度。百十元的小电磨虽然便宜，但其精度通常很差，装上刀后差不多要跳动几十丝，那就意味这样的主轴没有办法雕刻精细的东西，也意味着你的雕刻机做出来可能连0.2mm的精度都没有。

传动单元

传动单元由步进电机、丝杆、联轴器三大主体组成，传动单元是整个雕刻机的运动执行单元，也是决定精度高低的一个重点因素。

业余玩雕刻机多是小机器，因此步进电机选用42型或57型就足够了。若从成本考虑，也可以使用二手步进电机，但要注意选择与你的步进驱动配套。丝杠根据使用需求，既可以使用几块钱一米的普通尖牙螺丝杆，也可以使用梯形的丝杆，还可以使用专业点的滚珠丝杆。从精度上来讲，滚珠丝杆好于梯形丝杆，梯形丝杆好于尖牙丝杆，当然这是指都是全新标准丝杆下的选择。丝杆不建议使用旧的，因为旧丝杆通常是设备维护中更换淘汰下来的，其精度可想而知。

总体来说，如果要求成本低、精度要求不高、运行速度要求不高，用尖牙螺杆就可以，如果要求精度稍高、运行速度快、成本较低，就用梯形丝杆，当然梯形丝杆中也有精度较高的产品，相应价格也较高，对精度要求很高的，可选用高精度的滚珠丝杆，比如C5、C3 级的滚珠丝杆。

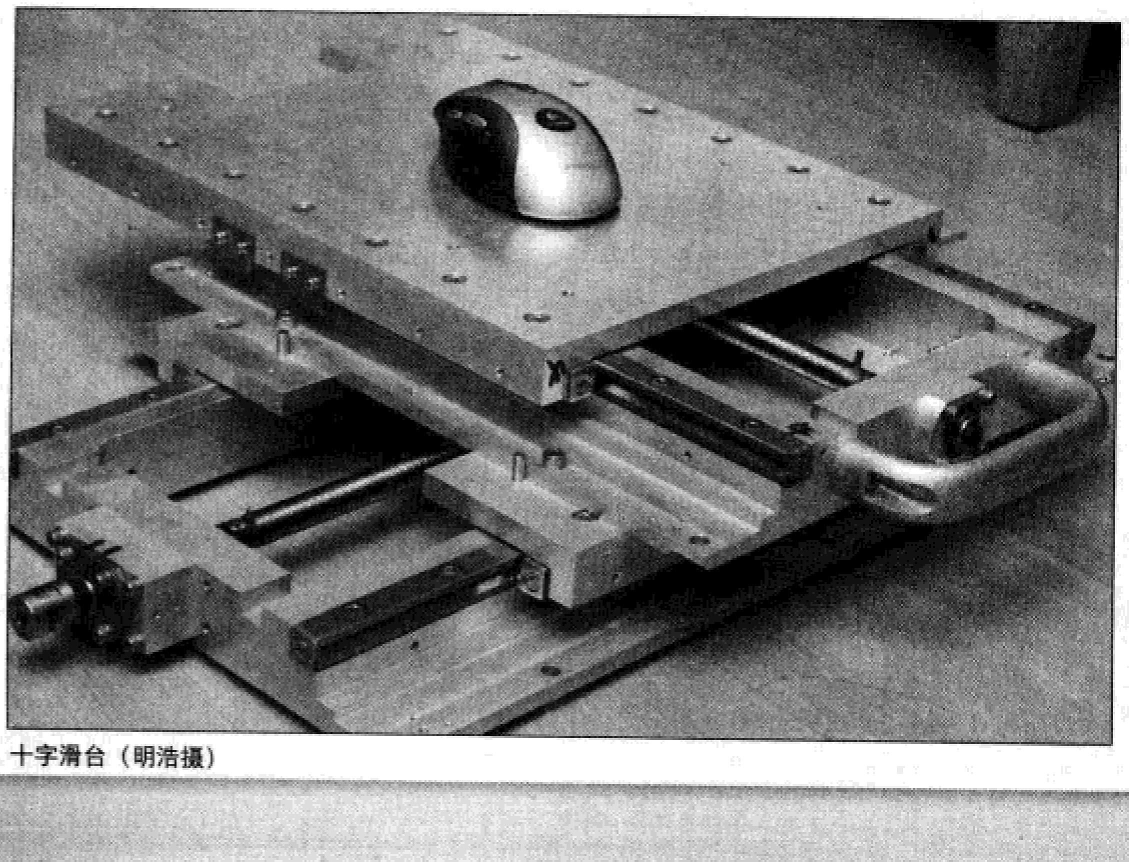
联轴器是联接步进电机和丝杆的中间载体，装配精度高、要求力矩大、传动精度高，最好选用刚性直联式抱紧联轴器，反之，选用诸如弹性联轴器或自己用塑胶软管自制的联轴器均可。

滑动单元

滑动单元主要是给传动单元配套，组成一个传动滑台。由轨道和滑块组成，通常每个轴由2支导轨、4个滑块组成，固定于机架上。业余条件下制作雕刻机，最好选用市场上出售的标准件产品，这类产品质量成熟、取材方便、价格实惠、选择性大，比如镀铬的圆轨和直线滑动轴承就是很好的选择。滑动单元这部分是整个机械部分中最容易实现的单元，直接购买市售成品即可，无论是实用性还是经济性都非常高。

对于非专业人士来讲，DIY三轴雕刻机是业余条件下介入CNC领域一个很好的载体，它并不是仅仅只能让我们认识到数控的“魅力”或是带来DIY的成就感，更能为我们的业余爱好、我们的生活、我们的工作带来实实在在的帮助。

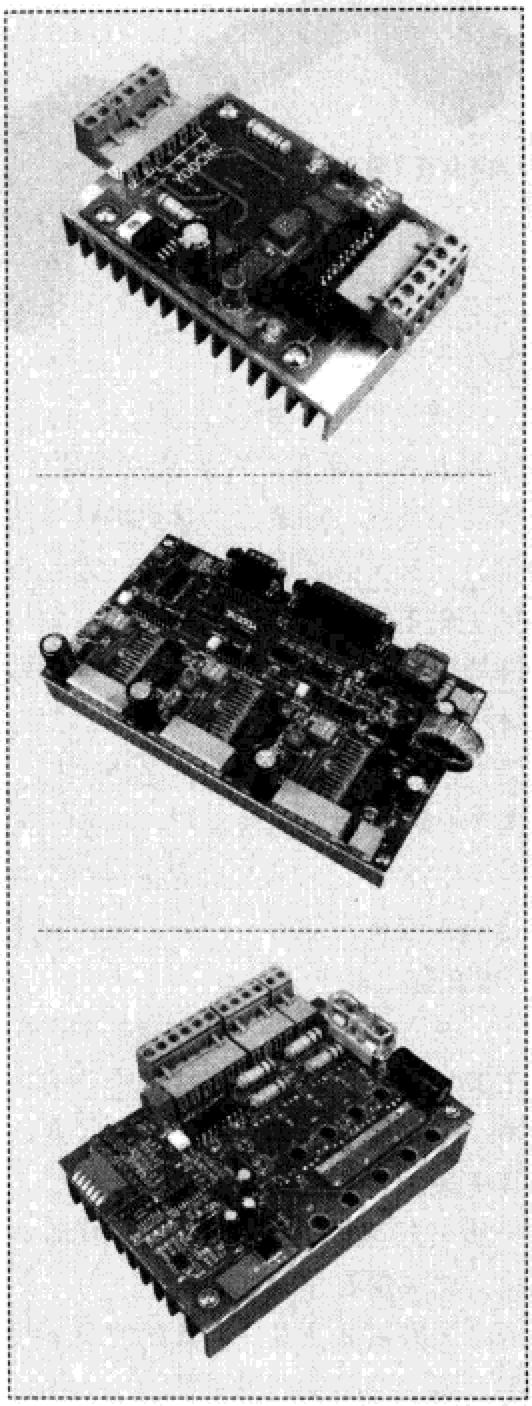
动手吧！自己动手，打造一个雕刻好帮手！



十字滑台（明浩摄）

认识数控雕刻机
——电机与驱动篇

◎温正伟



雕刻机的机械部分如果让电子爱好者略感陌生的话，那么雕刻机身上不得不说的电机与驱动想必会让电子爱好者更亲切一些。

雕刻机的步进电机与伺服电机

雕刻机的驱动电机一般会使用步进电机或伺服电机，两者在控制方式上是相似的，都是用脉冲串和方向信号作为驱动信号，但是性能和价格上就相差甚远了。下面是一些简单的比较。

1. 控制精度

无论是雕刻电路板还是其他作品，控制精度很关键，选择了合适的电机就相当于选择了相应的控制精度。

目前，市场上最常见的是混合式步进电机，它是汇集了可变磁阻步进电机和永磁体步进电机两者的优点。而常见的步进电机又有单极性、两相以及五相的区别，单极性步进电机的步距角一般为3.6°或7.2°，两相步进电机步距角为3.6°或1.8°，五相步进电机则为0.72°或0.36°。有一些高性能的步进电机最小步距角可以到0.036°，但那是极为少见和昂贵的。

伺服电机的控制精度是由电机轴后端的编码器来保证，如果一个带有标准 2500 线光栅盘的 4 倍频编码器，可以控制到每个脉冲当量为 0.036°，精度是普通五相步进电机的 10 倍以上。如果编码器的精度更高，其控制精度也就更高。图 1 为一款伺服电机编码器的内部照片，该编码器为一工业用伺服电机内部编码器，使用 17bit/20bit 专用编码器芯片，精度为 16384P / R，也就是转一圈能输出 16384 个脉冲。使用这类编码器的伺服电机比步进电机的精度要高出许多倍。

2. 运行性能

步进电机的控制为开环控制，没有反馈信号可以处理，当步进电机的启动频率过高或负载过大时，很容易出现丢步或堵转。另外，停止时，如果转速过高，易出现过冲。因此，在实际使用中，控制软件或控制器都会使用运动曲线去控制步进电机在启动、运转、停止三个阶段的转速。图2 是笔者在一个步进电机控制项目中的步进电机从启动到停止的控制脉冲波形。从图上的控制脉冲波形图可以看出，电机启动时由一个较慢的速度经过一个加速过程到达目标速度，在将要停止时则要经过一个减速过程。

伺服驱动系统为闭环控制，伺服驱动器可对伺服电机内的编码器反馈

图1 伺服电机编码器内部电路

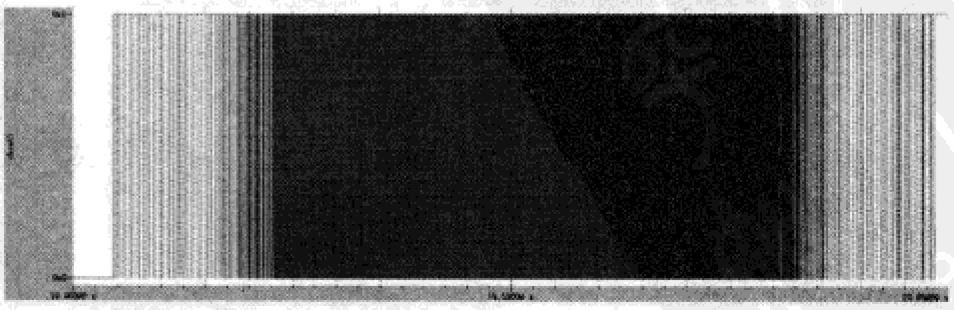


图2 步进电机控制脉冲波形

信号进行处理，使其构成位置环和速度环，正常情况下不会出现丢步或过冲的现象，使伺服驱动系统控制性能更为可靠和精确。

3. 矩频及低频特性

根据步进电机的工作原理，当步进电机工作在低速时易产生振动，一般会使用驱动器细分技术来减少这个对电机工作不利的振动产生。步进电机的输出力矩是随转速升高而下降的，一般的混合式步进电机最高工作转速在300～600转/分。

伺服电机在低速时不会出现振动现象，性能好的伺服系统还具有检测机械共振点的功能，以便于调整、抑制系统的共振。伺服电机工作在额定转速以内，都能输出额定转矩，额定的转速一般为2000~3000转/分，高档伺服电机则可达到更高的转速。

从以上几点我们可以知道，伺服电机的性能比步进电机的要好，但是前者的价格是后者的数倍到数十倍，两者的驱动器价格相差很大。业余爱好者制作简易雕刻机时，综合性能、价格、安装尺寸等因素，通常会选择混合式两相步进电机作为雕刻机的驱动电机。一只全新国产的57型混合式两相步进电机售价为100~200元（具

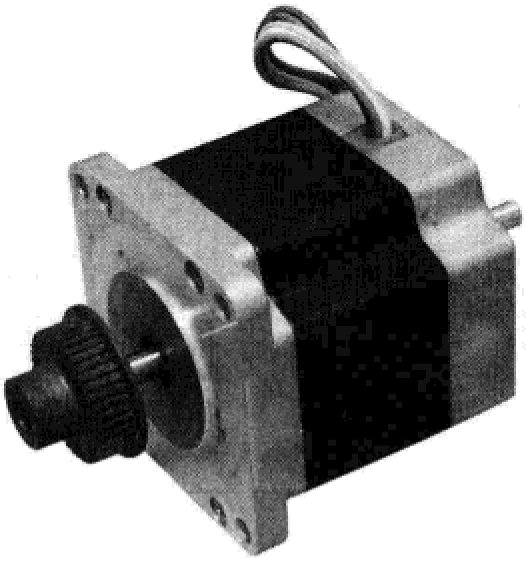


图3 57型混合式五相步进电机

体看型号），二手的步进电机也有很多，而且价格十分便宜，也是众多爱好者入门的首选。图3是二手的57型混合式五相步进电机。

雕刻机的电机驱动

使用步进电机之前，我们必须先了解步进电机的线路结构。本文中笔者只与大家讨论最常用的单极性步进电机和两相步进电机，图5是单极性步进电机的线路结构图，图6是两相步进电机的线路结构图。

1. 单极性步进电机的驱动方法

单极性电机最常用于各种打印机驱动系统上，通常引出线是5线的，也有引出6线的，6线的则是把公共端分开成2组，A相和C相的公共端一根引出线，B相和D相的公共端一根。购买二手电机时，商家通常不会给你资料，甚至在电机上看不到型号，使用时先需要找出引线是属于哪相的。以下几个步骤可以帮你很快解决这个问题：

①因为公共端与其他各引线的电阻是一样的，所以用万用表测量每一根线对其他线的电阻，如果这根对其他线的电阻都一样，则说明是公共端。

②把公共端连到一个电源的正极，测试时可以用＋5V电压。

图4 伺服电机与驱动器

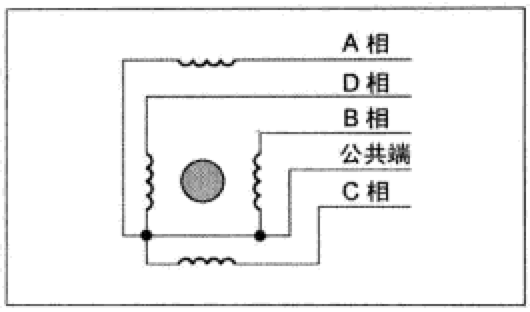


图5 单极性步进电机线路结构

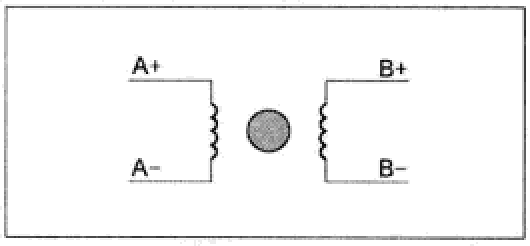


图6 两相步进电机线路结构

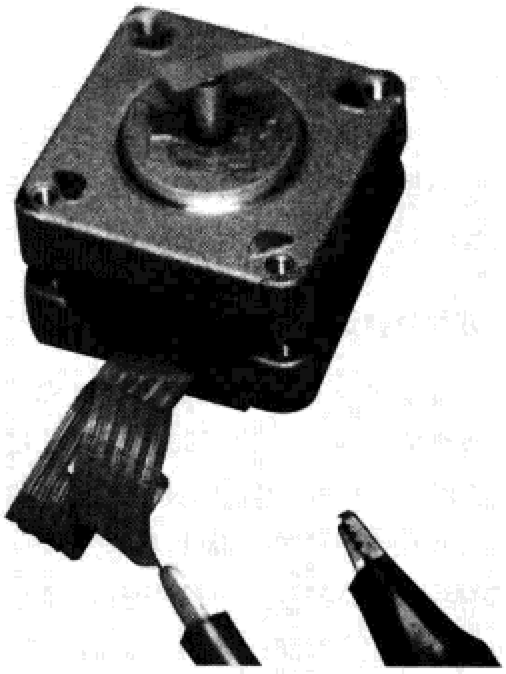


图7 单极性步进电机测相

③用胶带粘贴到步进电机的输出轴上，用于看电机是否转动。

④任意选出一条引线（公共线除外），把此线看作A相的引出线，把它接到电源的负极，这时电机会转动一下或不转动。

⑤断开接在A相的负极接线，用其接触其他的线，如果这时电机顺时针转动，说明所接触的引线是B相的引出线，如果电机逆时针转动，则说明不是B相，这时断开负极线，用负极线接触一下A相，使转子回复到原位。图7是单极性电机测相时的照片。

用第5点的方式找出C、D相，最

后用负极线依次接触A、B、C、D相，转子能顺时针连续转动时，则说明相序寻找正确。

单极性步进电机的步进方式有如下3种：单拍、双拍、半拍。

单拍步进方式的驱动时序如表1所示，单拍的工作原理是每次给一个绕组通电，转子与通电绕组磁性相反的永磁体会被通电绕组吸引，依次通A、B、C、D相，转子就会不停地转动。

双拍步进方式的驱动时序如表 2 所示。双拍工作时，一次同时给两个绕组通电，转子会在到达两个绕组的中间位置时平衡，因为同时两个绕组通电，所以用电量也要比单拍方式多一倍，但可以多获得 40% 左右的输出力矩。

半拍步进方式是让单个绕组通电与双个绕组通电交替进行，输出力矩比单拍大，但又比双拍小15%~30%。

2. 双极性步进电机的驱动方法

双极性，也就是说每个绕组都可以两个方向通电，对于转子而言，每个绕组就可以是N极和S极，通常也称之为两相步进电机，因其具有两个分离的线圈。同一大小的双极性和单极性步进电机相比较，双极性的输出力矩要比单极性的要大，因为工作时单极性的只有一个绕组形成磁场，而双极性则是两个绕组形成两个磁极吸引转子。双极性步进电机一般有4根引出线，可以使用万用表方便地查出哪2根引线是在一个绕组上的。常见的双极性步进电机一般步距为1.8°，每200步为一圈，也经常见到有6线引出的，多一对中间抽头，这样也可以看成是双极性步进电机使用，可以有2种接法，如图8所示。

因为双极性的绕组是需要在两个方向上通电的，所以在驱动电路上需要一个H桥电路，通过控制H桥的导通和关闭，可以实现绕组引线上的电流方向，从而实现电机的转动控制。双

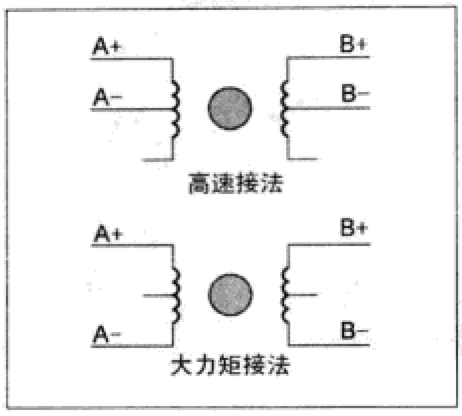


图8

表1

	A	B	C	D
1	通			
2		通		
3			通	
4				通

表2

	A	B	C	D
1	通	通		
2		通	通	
3			通	通
4	通			通

极性步进电机同样具有单极性步进电机的步进方式。

3. 步进电机的驱动电路

熟悉电路的朋友看了以上的介绍，能大概知道步进电机驱动电路需要如何制作了。驱动电路是多种多样的，但总不能离开上面多个表格所描述的驱动时序表，哪一款驱动电路都离不开最基本的驱动方式。

随着业余雕刻机兴趣活动的发展，各种各样步进电机驱动电路板也在网络上流传开来。市面上也有许多步进电机驱动芯片，如L293、L297、TA8435H、A3977等。图9是一款2.5A两相步进电机驱动器。

自制雕刻机用的电机驱动器，无论步进或是伺服，其作用都是把控制器或电脑生成的脉冲信号转变成足以驱动步进电机或伺服电机的电压和电流，也就是相当于一个功率放大器，伺服驱动则比步进驱动多了反馈信号处理电路。一般爱好者都是制作或购

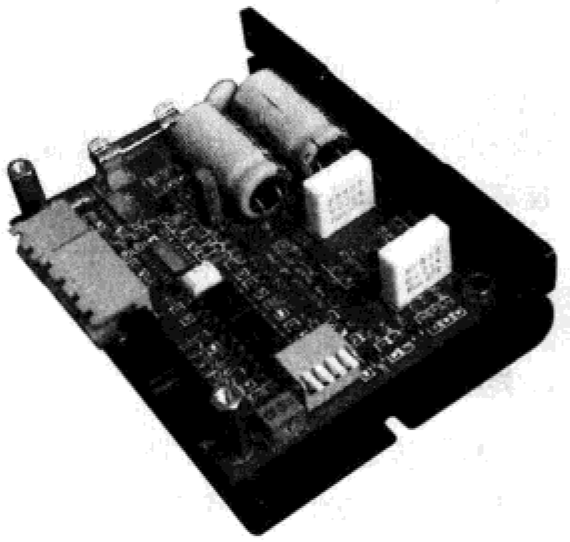


图9 2.5A两相步进电机驱动器

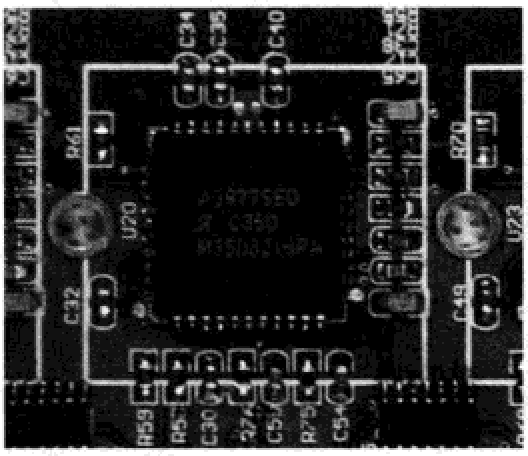


图10 A3977芯片

买步进电机驱动器，制作或购买时可以根据所使用的步进电机的额定电流大小来决定驱动器电流的大小。

如使用的步进电机电流为2A，则可以使用输出电流大于2A的驱动芯片来制作，如A3977。在爱好者中，使用最多的步进电机驱动器一般为二相步进电机驱动器，因内部使用了H桥电路以控制电机中2线圈的电源极性，以实现电机的旋转及正/反转，所以需要2个脉冲来进行控制，一个脉冲来指示转的步数，一个脉冲则以高低电平来指示正转或反转。控制脉冲可以来自电脑软件或插在电脑主机的运动卡（如国产的维宏运动卡）生成后经并口或其他接口输出的脉冲，也可以来自嵌入式脱机雕刻控制器等。

限于篇幅，这里就不再分享驱动器的制作经验了，有兴趣读者可以关注今后的《无线电》杂志，或者登录http://www.cdle.net，了解制作过程，分享制作快乐。

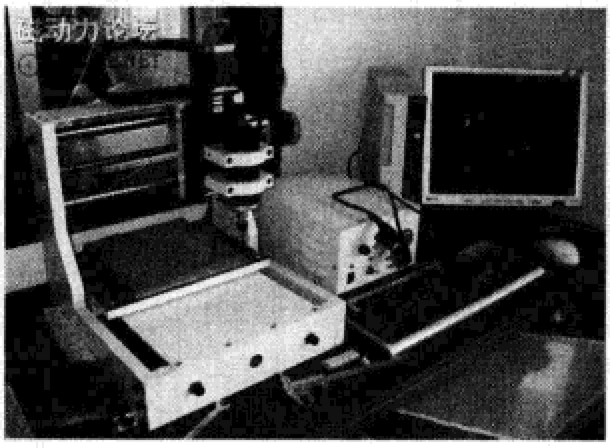
雕刻机爱好者如是说

◎明浩

笔者最初看到杂志上某品牌的PCB雕刻机时，多希望能拥有一台，能用来制作PCB，以丰富业余电子制作的乐趣。也是出于爱好的目的，2005年我在自己的网站论坛上增加了雕刻机栏目，一办就是好几年了，吸引了许许多多的爱好者，也为带动CNC DIY产业化出了一点微薄之力。几年办雕刻机栏目的历程，也让我认识了许多同样热爱雕刻机、热爱制作的朋友，他们中有企业老板、医学博士、工人、学生……大家都有一颗乐于分享、喜欢交流、善良热情的心。当得知《无线电》杂志要做一期CNC的专题时，我邀请了很多CNC爱好者在网站上表达他们对这项爱好的感受，本文中摘选了几位网友发表的感受，希望有更多的爱好者认识这项充满机电乐趣的爱好并参与其中，一起分享制作的快乐。

Lhfbaby

2007年偶然一次来到磁动力论坛，就被深深吸引住了，快3年了，我从一无所知到拥有自己的小雕刻机，这一切都归功于广大“雕友”的无私帮助。我的雕刻机可以说是伴随着儿子的出生而诞生的，当时的心愿就是一定赶在儿子出生之前把机子做出来，将来让他成为磁动力最小的“雕友”，哈哈。我DIY的雕刻机（桌子比较乱）和雕的一张儿子的照片（有机玻璃）。



herong987

2005年，我第一次看到了数控机床的视频，没想到的是，2008年我有了自己的CNC。巧合的机会让我萌发了制作雕刻机的念头，制作中有很多这样那样不懂的问题，几次想要退缩，但网上很多网友成功制作的经历成了对我的鞭策，于是我选择了另一个放弃——放弃半途而废的念头。制作CNC是个不断学习和深化的过程，我从中找到了自己的不足，也学会了解决问题的方法。不夸张地说，使我在人生观上产生了改变，看到网友们做出了精美实用的CNC，我心里曾告诉自己，我不可能做出来，用孔老夫子的话说就是“汝自拘矣”。可是后来我做出来了，虽然很简陋，但是成功了，把一个起点变成为了一个转折点，这让我明白了“有志者事必成”的道理。不要局限自己，要开阔思想和视野，要相信自己，让不能成为可能，不要随便放弃。

fg2006

2008年初，穷人，目标：挣钱抱个老婆回家。

2008年中，人生路一头上了“磁动力”，她在向我挥手奸笑。

2008年底，内心在斗争：“老婆”、“小雕”、“老婆”、“小雕”、“老婆”、“小雕”……

2009年初，掉进“火坑”，但给自己限制在千元以内的，绝对“小”雕。

2009年中，备料已有一半，心中暗喜，算盘一打，倒地，严重超标。老婆本……

2009年底，“小雕”会动了，雕了个QQ头像……幸福……咋一看，小雕怎么都像个百货店：机架：PVC板+纤维板+铝型材+木板+……此时，我现在的老婆出现了。看着我满屋子的那些玩意，对她来说是破铜烂铁的东西，她没埋怨却是支持我，感动……我们领证了。

2010年初，给小雕升级了一下，换了身皮＋骨，样子好了，精度也好了……拿到了公司，没想到它可以帮我生产了（这是我原本没有想到的）。

费用：粗算一下，已超4k。制作过程工具：手电钻+云石机+螺丝刀+老虎钳+卡尺+钢尺+百分表+万能角度尺+自己（之前从未接触过机械的菜鸟）

小结：“老婆”、“小雕”两不误啊！

gbjs

雕刻机充实了我的精神生活。我是一名电子和机械爱好者，今年 56 岁。从小就喜欢鼓捣“矿石收音机”、做“小板凳”、“破坏”玩具等。20 世纪 60 年代半导体收音机还很少，父亲用了 3 个月的工资 188 元买了一台上海产的“美多”牌 8 管半导体收音机，当时在我们这个小县城很稀奇，经常有人到我家听收音机。一天我闲极无聊，强烈的好奇心驱使我把收音机拆了，父亲知道后很生气，打了我。限我一星期内将机器搞好。后来我经过反复拆装终于在期限内修好了机器，从此迷上了半导体收音机，我通过打工、捡牙膏皮卖钱，攒够了买收音机零件的钱，经反复琢磨、反复拆装，终于装好了我的第一台 5 管来复式半导体收音机。后来又装了“外差式”收音机、电视机等。随着时光流逝，我上了高中，下乡插队落户、上了大学、参加了工作、走上了领导岗位，我一直非常热爱 DIY。只是工作太忙，自己鼓捣的东西多是半成品。用老婆的话讲：我们家是个废品收购站、垃圾场。2008 年我退居二线后，工作突然轻松了，但心里也就空虚了。一次偶然的搜索我进入了“磁动力”，迷上了雕刻机。用坛友的话讲，就是中毒了。从此，我制作雕刻机的茫茫历程开始了，我的心情也随之舒坦起来。在制作过程中，困难和问题接踵而来。我们这里地处山区，偏僻落后，没有工业，别说是加工一些工件了，就连颗内六角螺丝都买不到。我只好采购材料找“淘宝”，加工工件靠自己，走“以机生机”之路。我先后购置了传说中的“2K4”车床、16V 钻铣床。经过艰辛努力、反复的失败，我的雕刻机终于诞生。在出作品的一瞬间，我的心中充满了成就感和自豪感。我下一步是改数控车和铣，现已备好了所需要的材料。

当然，在有些人眼中，这项爱好只算经济账是得不偿失的，不过精神食粮是用金钱买不到的。这里我也奉劝各位 D 友几句，DIY 是要烧钱的，要适可而止，对于生活拮据的、老婆强烈反对的要忍忍手，家庭和睦才是最重要的。

Osaki

我生长在工业革命进行中和改革开放的国度。除了平时的同学和玩伴外，总是可以通过父母工作环境中接触到机械设备和钢铁零件。时光流过，童年的玩伴们一个个的长大了，有的在工厂做技术工人，有的成为了教师，还有些仍然孜孜不倦地努力着奋斗着，而永远没变的只有那充满快乐的童年回忆。

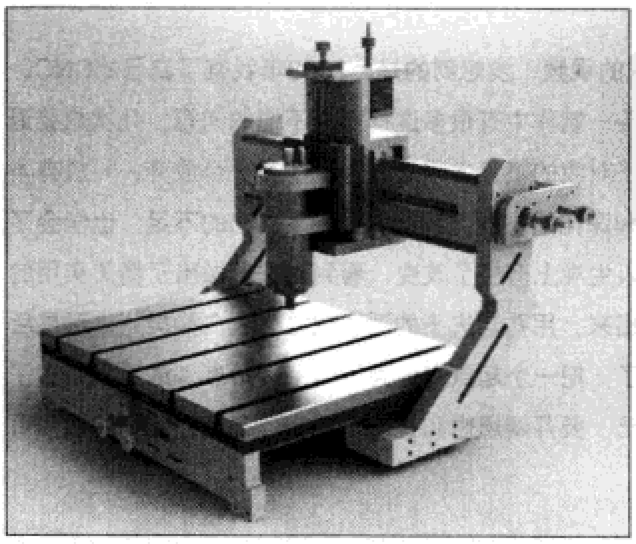
我是一个艺术类设计工作者，在工作生活中接触很多关于美术、工业造型设计的一些课题，平时也会运用美术基础去试着设计一些图纸和工具。就在一个无法实现设计作品的一天里，带着沮丧的心情去网络里寻找解决方法，希望借助某些机械设备或工具完成我的小制作。在偶然间看到了某论坛中一些网友制作自己的小型CNC，俗称雕刻机。我突然感觉它就像童年中的伙伴在向我招手。

绘图对我不是什么难事，在绘制好图纸之后自己曾开心满足，可要想从图纸变现实，并没有我想象中的容易。因为跨行业的因素加上机械及电子基础知识匮乏，在制作过程中遇到不少困难，从一个螺丝螺距到一个丝杆和滑轨，从金属材质到整体强度，从一个电机到电控，从这些最基础的部件开始摸索。正是因为有了目标，学习也有了方向，不久之后，我的努力有了回报。在努力坚持之后，最终完成了它。

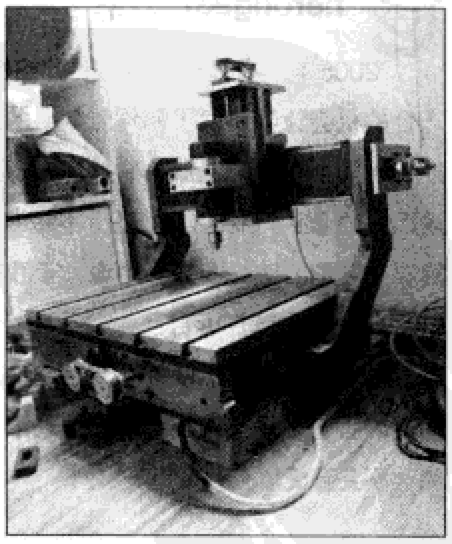
回到了无忧无虑的童年时代！——此时摸着冰冷的钢铁，听着吱吱的电机声，着实让我痛痛快快地享受了一把。

我再来介绍我这台小CNC（俗称雕刻机），我情愿叫它小CNC，因为朋友们常常认为自制的这种机械无法加工钢、铜等金属，所以充其量只能叫雕刻机。在借鉴了很多网友们成功的案例和建议后，通过结合和自己的设计基础，我最终完成了如图所示的样子，在加工过程中，我考虑底盘不需要硬度太高，费用也是一个方面，因此就采用了A3钢，俗称熟铁。在龙门架和X轴部分采用的都是45号钢，这种钢在调质之后可以得到更好的机械性能。导轨、传动部分都是采用的进口二手零件，因此价格控制得较容易接受。步进电机自然也是二手的。在制作过程中，有网友提议使用伺服系统会增大钢机身的性能和更快的走刀效率。因为我囊中羞涩，而且考虑后期是自己使用的，效率可以放到其次。而电路部分起初也是希望自己动手制作PCB和焊接元器件，可算了一下这部分自己制作的难度和成本都是费力不讨好的事，最终还是买的现成的电路板。机械部件在我周围条件允许的情况下可以自己上铣床加工，所以完成的速度较快。

从一个想法到实现，这是一件完整的制作过程。不懂就学，不耻下问使我找到了捷径。坚持而不放弃，是我体会到的最真的道理。过程是有酸有甜的，但结果却是喜悦和快乐的！



我绘制的雕刻机图



实际制作出来的雕刻机

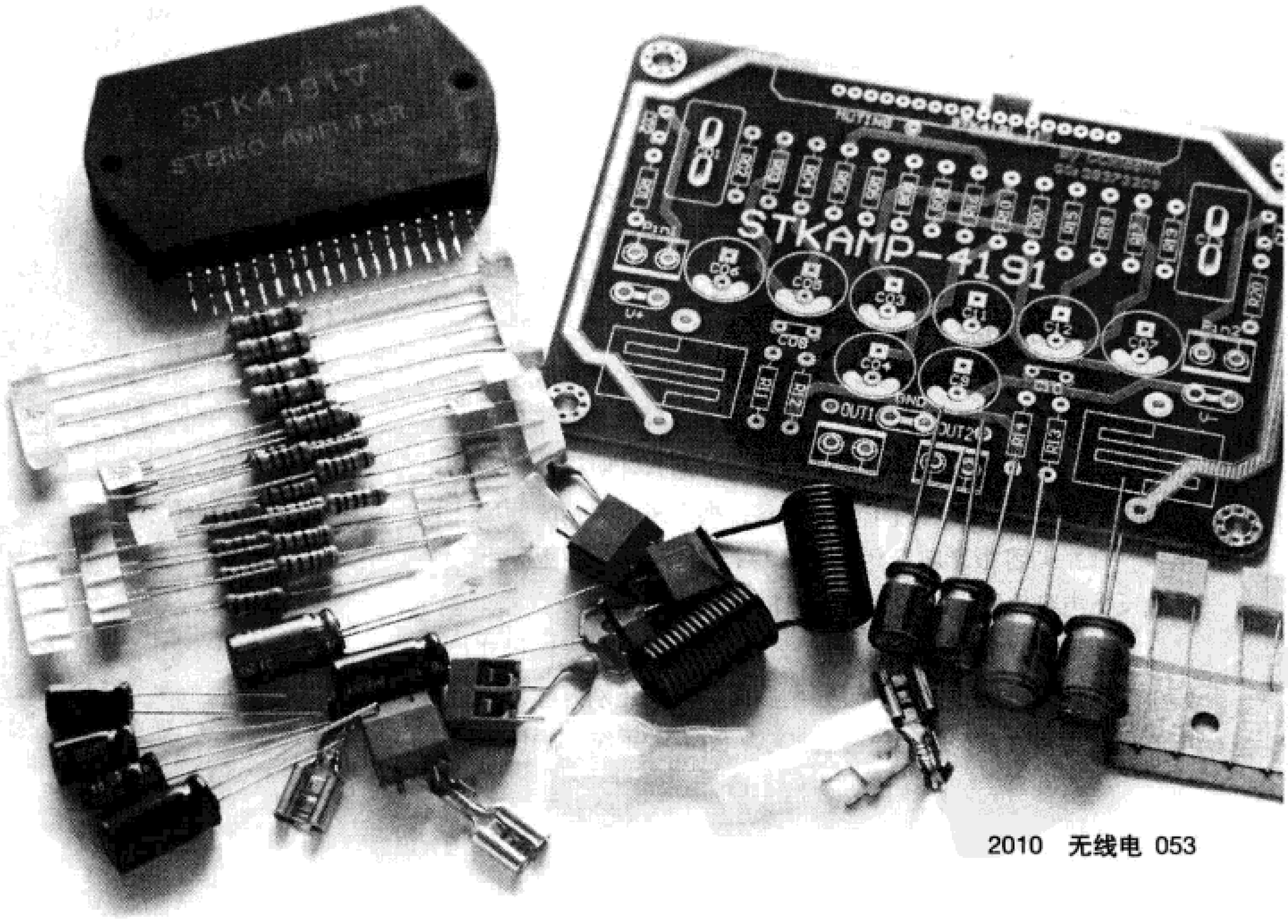
重温岁月流逝的声音
再做STK4191V厚膜功放

◎李俊杰

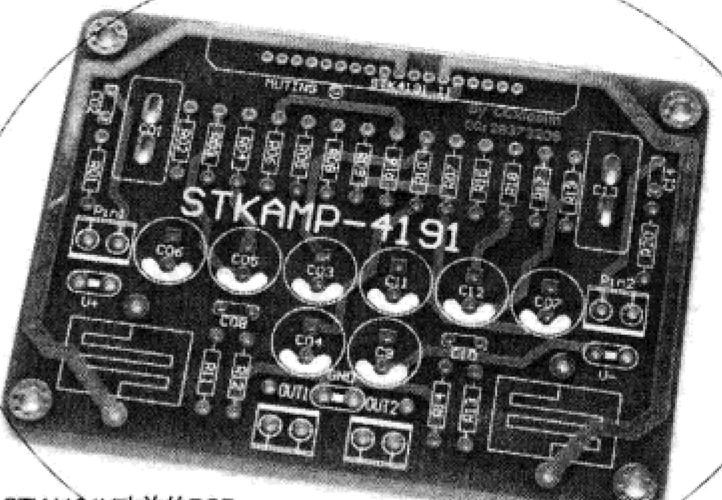
STK这个曾为DIYer所熟悉的响亮名字，一度成为80年代末与后期音响DIY中的珍品。STK系列厚膜IC功放模块是三洋公司生产的经典产品，它外形和普通IC一样，外围电路也非常简单。而内部却是分立式的结构，由多个独立的晶体管、电阻、电容等通过紧凑的PCB连接成为一个放大电路。所以，厚膜功放IC实质上应该称为功放模块，兼具了IC功放的简单、一致性高与分立式电路的优秀性能与音色表现。STK音响功放模块广泛应用于各种档次的组合音响与分体式功放上。旧的型号已经一一淘汰，现在的STK功放模块的性能指标有了很大提高，电路形式更加先进。由于市场等种种原因，现在STK产品慢慢离开了DIYer的视线。

某天，在QQ群中有些人挑起了怀旧的筋，列举了数十年前的一度流行过的音响IC。我忽然有了再玩一把经典的STK厚膜功放念头。厚膜这玩意儿，80年代末90年代初可是个宝贝，以当时学生的零用钱水平，要积蓄几年才可能买到一块玩玩，或者只能在杂志文章上欣赏一下，或是偶尔跑去音响零件店里瞻仰一下。所以当年只能做一些便宜的小型IC玩玩，如：TA7240、TDA2030、TEA2024、LM3886……一段远久而美好的回忆。

幸好后来有不少机会（从拆机板或是别人赠送的）玩了几个STK经典的厚膜IC，如：OTL的STK439、著名的代言型号STK465、90年代中的STK3048+STK6153等。时光飞逝中，STK的记忆渐渐压在心底。在物质丰富的现在，已经有无数种随手就买到的功放组件可以供自己享乐一番，也可以买得起一个成品功放，然而，在杂志和网站上还不断重复着TDA2030、LM1875、LM3886、LM4766、TDA7293等老IC，难道真是“古老当时兴”？这让自己想起了已放在箱底下面的TDA7293、TDA7294、LM3886、LM4780、LM1875、TDA2030等功放板了。不知不觉间，自己也跟随着历史的潮流玩历了不同年代的经典功放IC。不过记忆中最遗憾的是曾经喜欢的厚膜系列，失落了很久。我心血来潮，翻查了STK的新资料，产品已经今非昔比，新的高性能型号一堆堆的，却很少在各个音响坛子上见得到，这反而钩起了再烧一把厚膜模块的浓厚兴趣。



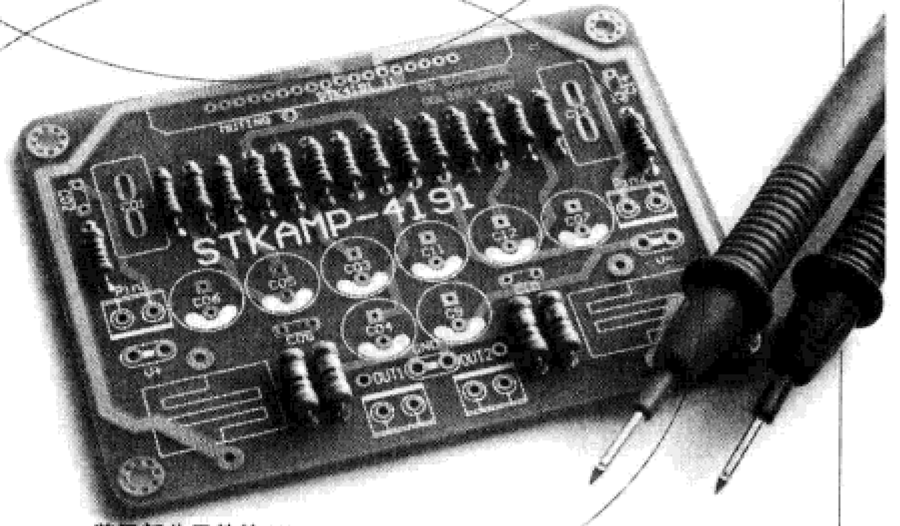
STK4191V功放的全家福



STK4191V功放的PCB

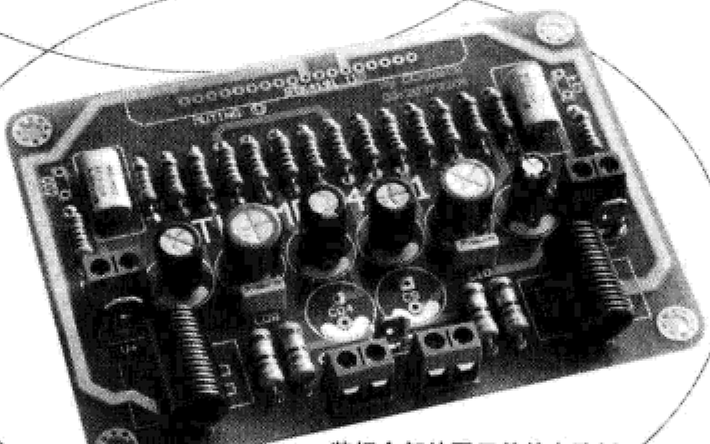
STK4191V厚膜电路

厚膜IC功放是功放中的一个经典，在计划玩一把新型号产品的同时，却先想再回归一下旧时的经典。虽然玩过了几个型号，但经典的老型号还非常多，曾是贵族的STK41XX系列还未曾做过。刚好这几天与朋友聊天，得知他还有廉价的STK4191V套件，于是叫他赶快发一套，做一个热身，再度重温经典厚膜电路功放的声音。

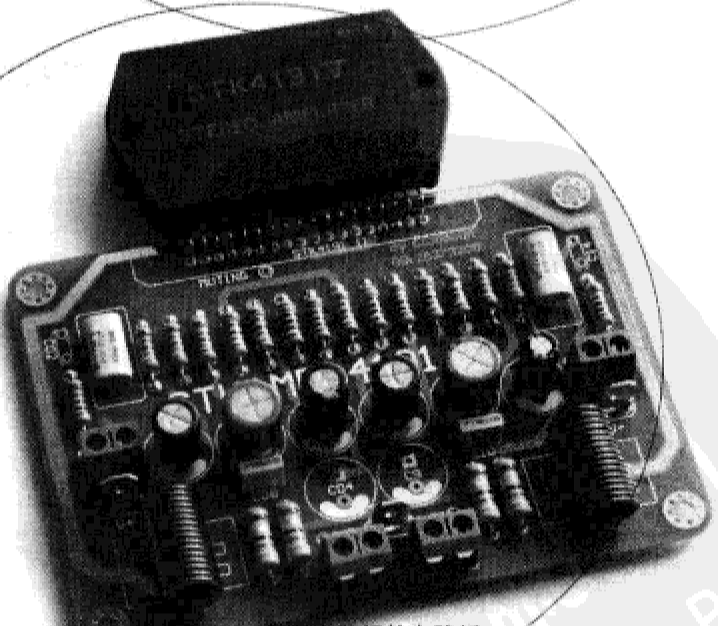


装了部分元件的PCB

太久没接触厚膜了，东西到手上才发现STK4191V原来这么小一块，不是当年STK4191II那种大块头了。板子也非常小巧，电阻显得很大，很壮观。厚膜IC优点是精选分立件的内部，简单的IC外部，所以安装起来非常容易，而性能也能得到较好的保证。除了价格因素外，很适合不喜欢普通IC，又想做高质简单分立功放的人，也是入门者的好选择。

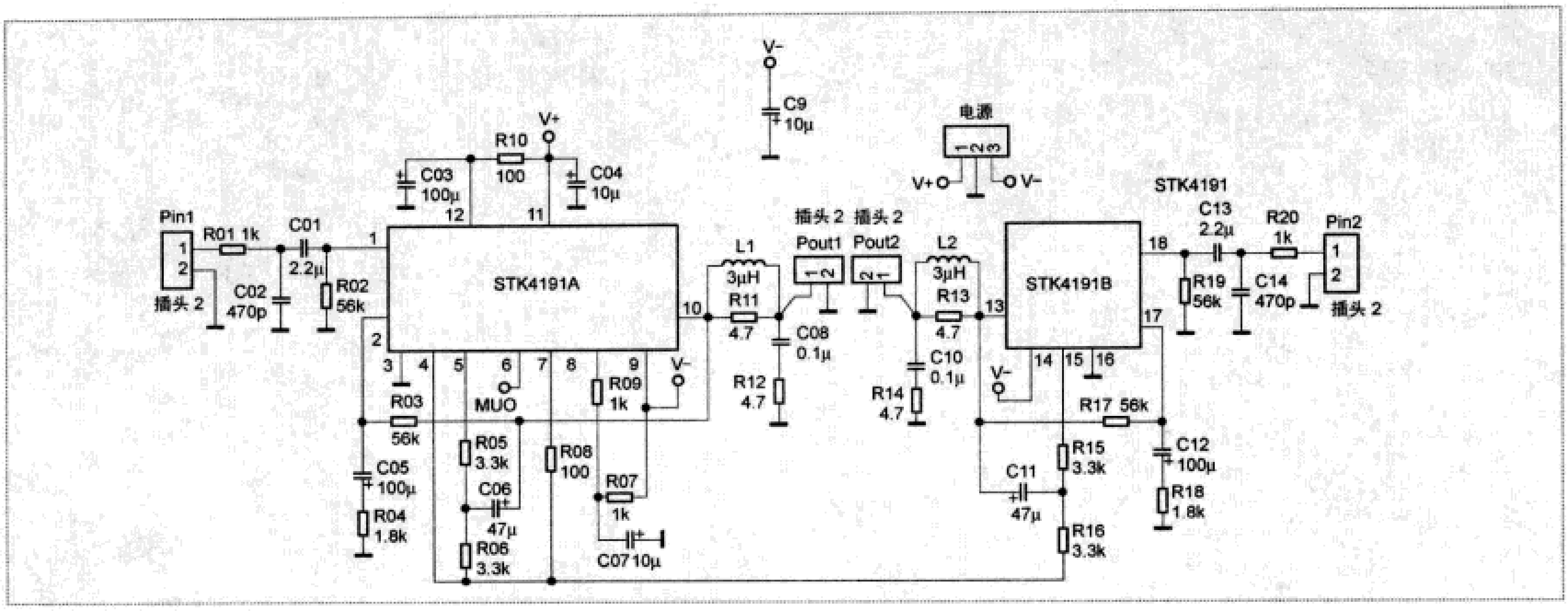

装好全部外围元件的电路板

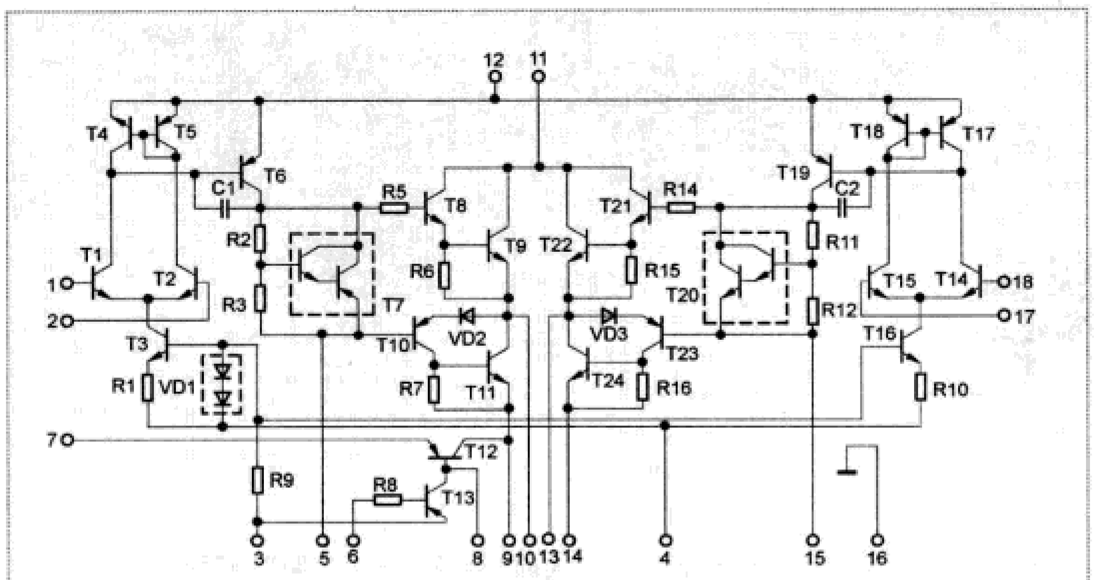
STK4191V的指标不高不低，失真比现今的新型号要大，现在随便找个新型号普通 IC 功放就能轻松把它干掉了。分析内部电路结构，失真可能主要来自非对称的输出级与自举电路。当年大部分的功放都少不了自举电路，现在都用恒流源结构，完美地解决这种需求。话又说回来，自举电路在音源与扬声设备都不太好的年代却是十分适合，会带来某个频段相对突出的“味精”润色效果。但我个人不喜欢这种电路，它受电容的制约很大，完全可以改用外部恒流源结构代替。考虑到回味经典的声音，最后还是决定完全按公板电路完成。


全部安装好的电路板

所有元器件加起来也就20来个，半小时就轻松完成了，电阻直接用指甲弯脚，多年来一直这样干。就是接线端子麻烦，引脚没有氧化而不上锡，要狠狠刮一遍方才听话。输入耦合电容原配MUSE 2.2μF无极电容，换上BEC的1μF薄膜电容。自举电容很影响音色，换上棕神的47μF，手上无合适的反馈电容，便用MUSE的100μF无极电容先顶上。

没有专用的散热片，找来STK6153原配的拆下来，尺寸偏小先用硅脂粘上作试验，没想到后面调试时还刚好够用。电源是一直用在其他IC功放上的200W 33V X2系统，顺便可





STK4191内电路

与其他IC功放一比高低。测量两声道总静态电流在常温下约为100mA，两输出端都是几毫伏的直流电压，而且很稳定。相比起再旧的型号，STK4191V安装调试相当简单，只要没接错线，装好就响。STK4191V的温度只比常温略高那么一点点，接上音源先放着，然后开始翻箱底找旧功放，房间里扬起一阵阵的灰尘……

晚饭后，各款老IC功放一字排开。选择了其中的TDA7293、LM4780并联、LM3886三个，因功率与价钱相近好作对比。使用同样的音源、同样的DAC、同样的音箱，认真地听了几小时，声音果然让思絮回到了当年，高频的延伸性确实不及现代的IC，有点偏暗；中低频相对就丰厚一些，整体气氛温暖，而低频有点乱但还算有力。这感觉就如当年的运放之皇NE5532的味道。其他作对比的IC功放声音早就熟悉得很，这时又复习一次。三者中，并联的LM4780的低频最硬，有点呆板，中高频尚可，LM3886整体最为平淡，中高频一般，低频有点软散，TDA7293比前两者要优秀一点，中低频十分有弹性，与STK4191V各具风格。STK4191V则更带点那个年代“风味”，很难以准确用词语表达。音色上不够Hi-Fi，而是口味重，加入了不少的修饰，却又很讨好耳朵，特别是丰满的低频。当中自举的电路形式对它的音色影响很大，改变自举电容会有很明显的影响。由于对当前的声音没有什么不满，所以也没有去尝试更换这个电容来调试声音。从这里也可以看出，1969电路的声音之所以有这么多人说好，使用自举电路是个重要原因。

在中等偏大的音量下，没想到小小的散热片并不烫手，相信找一个细小的机箱就可以把STK4191V做得很精致。作为一个小型桌面功放可算得上不错的选择。特别是在小音量下欣赏歌曲，中低频的表现保持相当好，有种轻弹浅唱的感觉，让耳朵分外舒服。听了许多类型的歌曲，发现自己偏爱的JAZZ类音乐在STK4191V上表现相当好，而拨弦类的音乐就感觉速度有点慢，这与自举电路有关，同时也与STK4191V内部的补偿电容取值有关。可能是在设计时为使每一个模块都不发生自激，这个电容的取值偏大，从而影响电压转换速率。

曾经的发烧器材珍品——STK4191V却只是我现在怀旧的小玩具，它的表现更加增强了寻找新的STK做一个完整功放的欲望。对于还乐于做老型号IC功放的人来说，在音源与音箱不很好的时候，想得到更有味道的声音，建议在还能找到的情况下选择厚膜功放去试试，它比普通的IC功放在音色上确实有很大的不同，非常好玩。

性能稳定 设计优良的

DAC套件

◎aeon

编者按：现在有不少人的工作和生活都与电脑为伴，欣赏音乐也依赖于电脑，为此我们向广大音响爱好者隆重推出一款设计优良、性能稳定的 MINI USB DAC 套件，该套件既可以做一款在电脑旁边使用的高品质 DAC，也可以做一款高品质的耳机放大器。

套件特点

套件的主要电路如附图所示,它具有以下特点：

（1）采用 BB 公司最新型解码芯片 PCM1793 和高品质数字接收芯片 DIR9001。

（2）耳放部分采用了 OP+BUF 的框架模式，采用中功率管作为放大输出，能驱动 H600 等高档耳机。

（3）创新采用单转双电源电路和虚地设计，使本机有较高的信噪比。

（4）全部采用高品质的元器件，以保证整个机器的性能。所有的 5 环电阻为日本 KOA 金属膜，电容为 nichicon 的音响专用系列，固体电容大量使用的是德国 WIMA，电位器采用的是 ALPS 大蓝壳，面板为高精度 CNC 加工。

MINI USB DAC技术参数:

输入:SIF×1 USB（1.0）×1 模拟RCA 1组

输出端子:模拟RCA 1组 6.5mm耳机插座×1

频率响应：10Hz~20kHz (-1dB)

失真AC：0.01%

耳机输出：0.05%

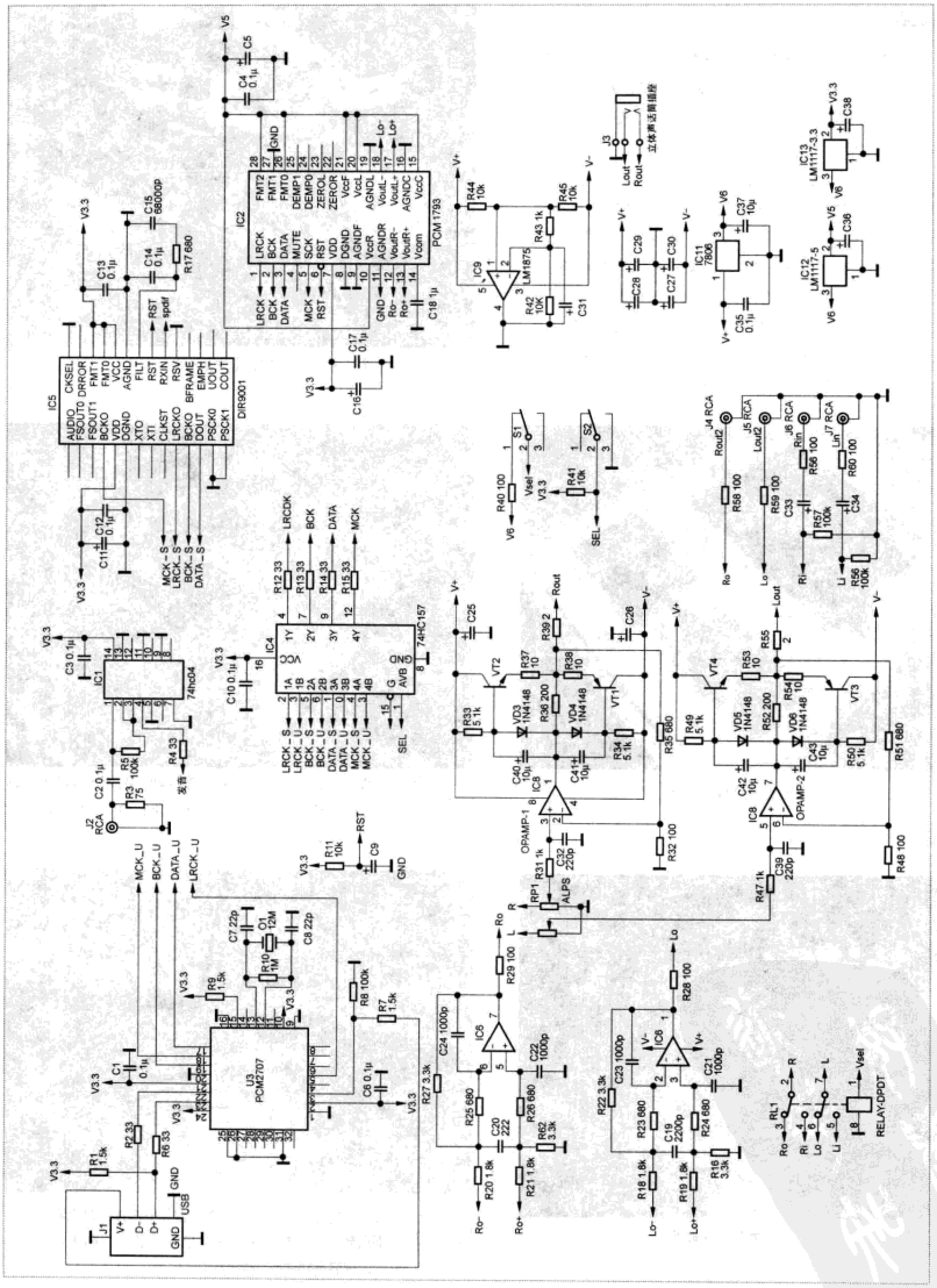
输入选择：USB/SPdif×1 模拟/数字×1

耳机输出电平：V_{P-Pmax}=10V

耳机输出匹配阻抗：32~600Ω

线路输出电平：2Vrms

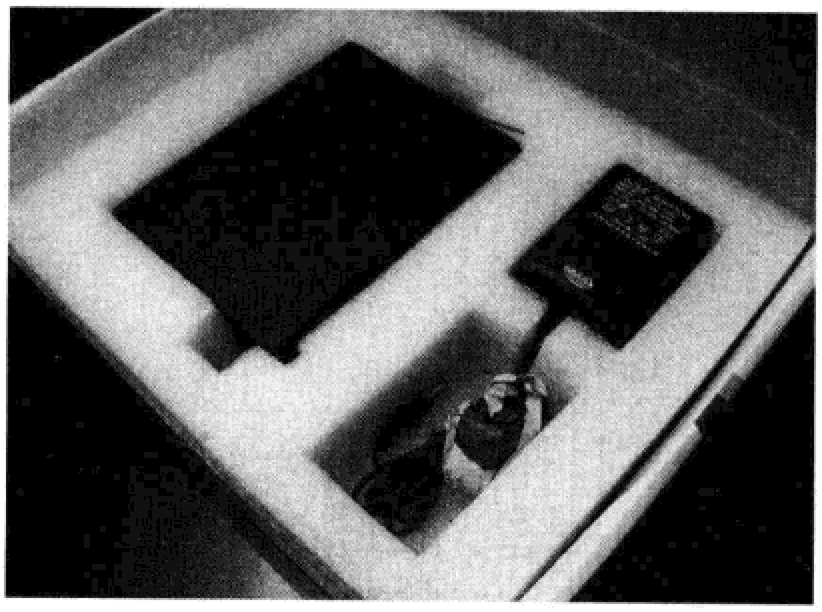
输入电源：DC12~18V 500mA


IC5
DIR9001
AUDIO
FSOUT0
FSOUT1
BCKO
VDD
DGND
XTO
XTI
CLKST
LRCKO
BCKO
DOUT
PSCK0
PSCK1
CKSEL
DRROR
FMT1
FMT0
VCC
AGND
FILT
RST
RXIN
RSV
BFRAME
EMPH
UOUT
COUT
IC2
PCM1793
LRCK
BCK
DATA
MUTE
SCK
RST
VDD
DGND
AGNDF
VccR
AGNDR
VoutR-
VoutR+
Vcom
FMT2
FMT1
FMT0
DEMP1
DEMP0
ZEROL
ZEROR
VccF
VccL
AGNDL
VoutL-
VoutL+
AGNDC
VccC
V5
C5
C4 0.1μ
C13 0.1μ
C14 0.1μ
C15 68000P
R17 680
V3.3
spdif
C17 0.1μ
C16
C18 1μ
GND
Ro-
Ro+
Lo-
Lo+
IC9
LM1875
R44 10k
R45 10k
R43 1k
R42 10K
C31
V+
V-
J3
Lout
Rout
立体声话筒插座
C28
C29
C27
C30
IC11
7806
V6
C37 10μ
C35 0.1μ
IC12
LM1117-5
C36
IC13
LM1117-3.3
C38
C11
C12 0.1μ
MCK_S
LRCK_S
BCK_S
DATA_S
IC1
74hc04
C3 0.1μ
R5 100k
R4 33
发音
C2 0.1μ
R3 75
J2
RCA
IC4
74HC157
R12 33
R13 33
R14 33
R15 33
LRCDK
BCK
DATA
MCK
C10 0.1μ
LRCK_U
BCK_U
DATA_U
MCK_U
SEL
S1
S2
R40 100
Vsel
R41 10k
J4 RCA
J5 RCA
J6 RCA
J7 RCA
Rout2
Lout2
Rin
Lin
R58 100
R59 100
R56 100
R60 100
C33
C34
R57 100k
R56 100k
Ro
Lo
Ri
Li
C25
C26
VT1
VT2
VT3
VT4
R37 10
R38 10
R39 2
R36 200
VD3 1N4148
VD4 1N4148
R33 5.1k
R34 5.1k
R35 680
C40 10μ
C41 10μ
IC8
OPAMP-1
R32 100
C32 220p
R31 1k
RP1
ALPS
R53 10
R54 10
R55 2
R52 200
VD5 1N4148
VD6 1N4148
R49 5.1k
R50 5.1k
R51 680
C42 10μ
C43 10μ
OPAMP-2
R48 100
C39 220p
R47 1k
U3
PCM2707
C7 22p
O1 12M
C8 22p
R10 1M
R9 1.5k
R11 10k
C9
R8 100k
R7 1.5k
C1 0.1μ
C6 0.1μ
R2 33
R6 33
R1 1.5k
J1
USB
D-
D+
IC6
C24 1000p
R29 100
C22 1000p
R27 3.3k
R25 680
R26 680
C20 222
R62 3.3k
R20 1.8k
R21 1.8k
C23 1000p
R28 100
C21 1000p
R22 3.3k
R23 680
R24 680
C19 2200p
R16 3.3k
R18 1.8k
R19 1.8k
RL1
RELAY-DPDT

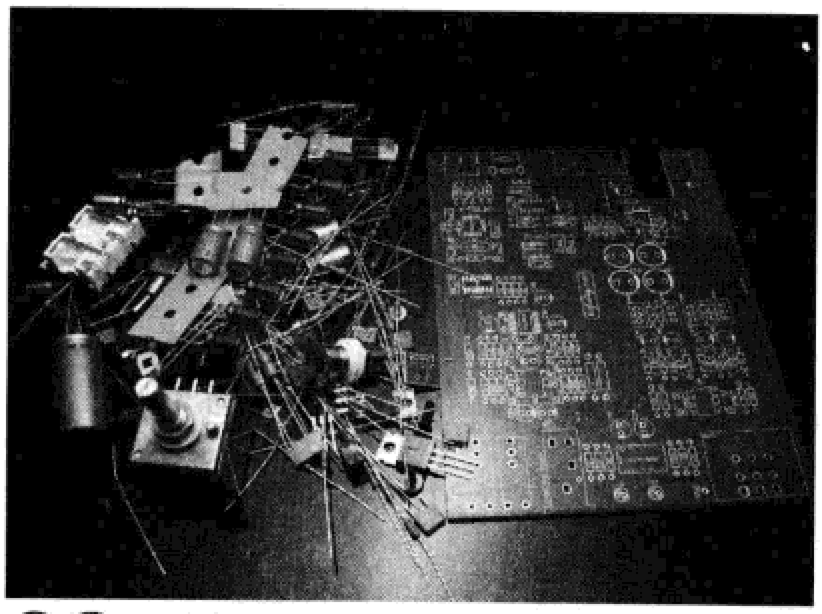
套件的主要电路

装机实战

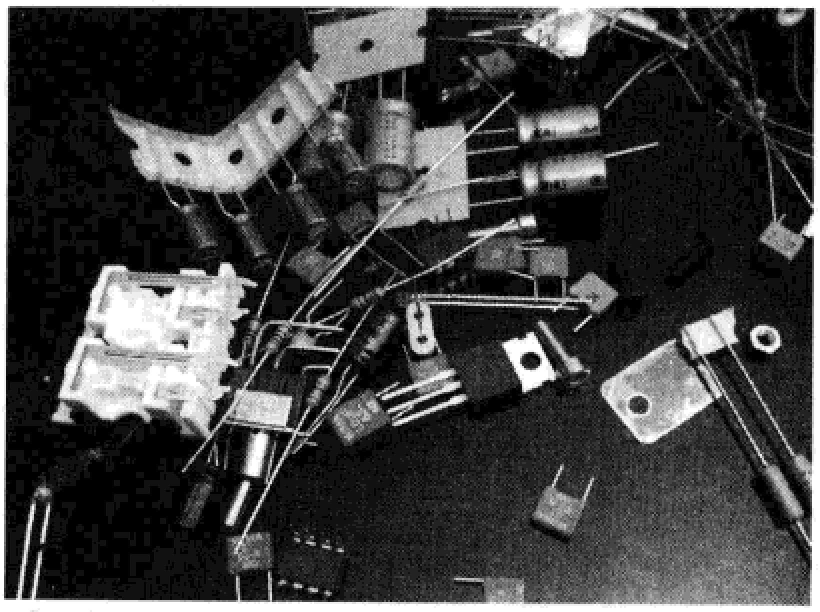
在动手之前首先说明的就是本款套件具有一定的制作难度，对初学 DIYer 是个挑战，所以，在组装前我们特别说明几点：(1) 一定不能使用焊锡膏焊接贴片元件，一旦使用，将会使整机不能正常工作，我们碰到太多这样的实例，请您切记！(2) 在安装之前，一定用万用表检测一下电阻，确定无误再安装，千万不要焊错电阻，相信您应该不会出错。(3) 切记 LM1875 的位置，必须使用云母片和绝缘垫，要保证安装后 LM1875 金属部分和机壳一定要绝缘，否则将影响整机的安全。以上三点比较重要，当然，对于经验丰富的 DIYer，应该能很快理解到这其中的重要性！总之，您在做这个套件时，必须要有足够的耐心和细致！言归正传，我们现在就开始以图文形式讲解一下这个套件的 DIY 过程。您准备好了吗？



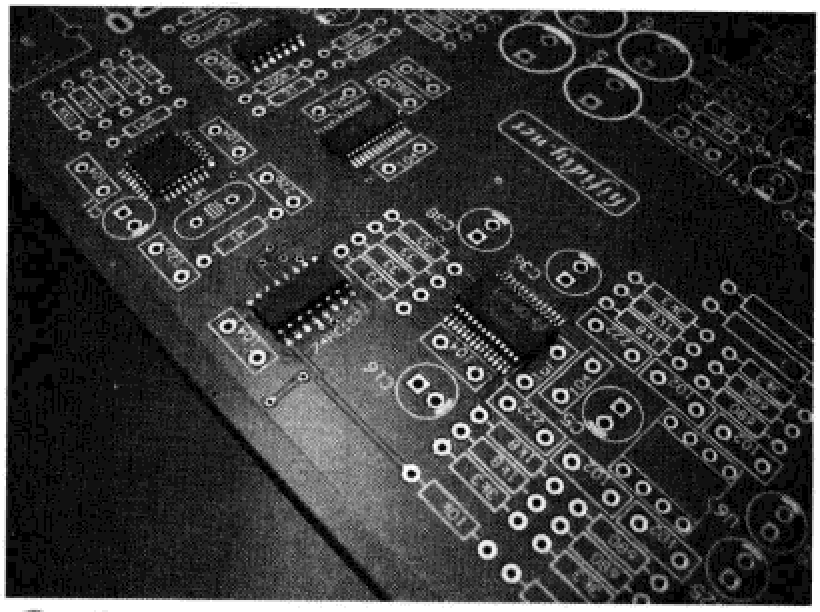
01 收到套件后，您见到的是这样的包装。



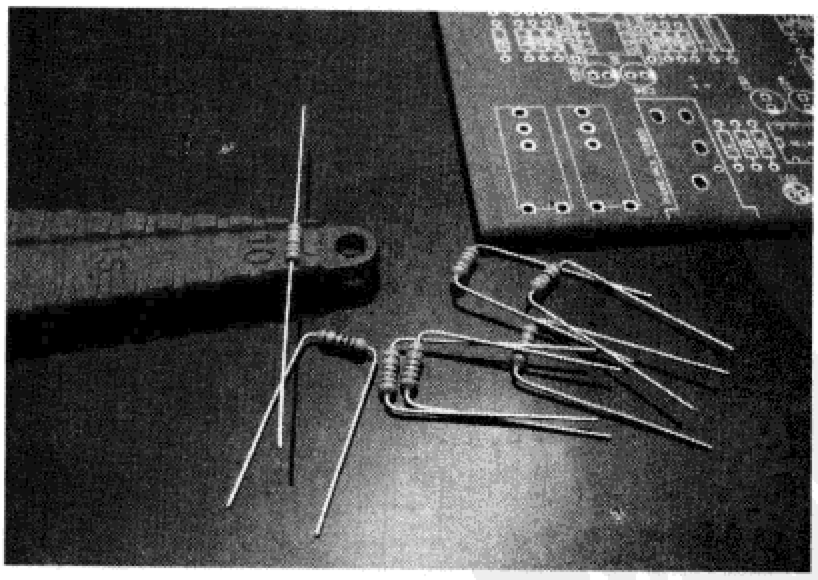
02 打开包装后可见所有的元件和电路板。



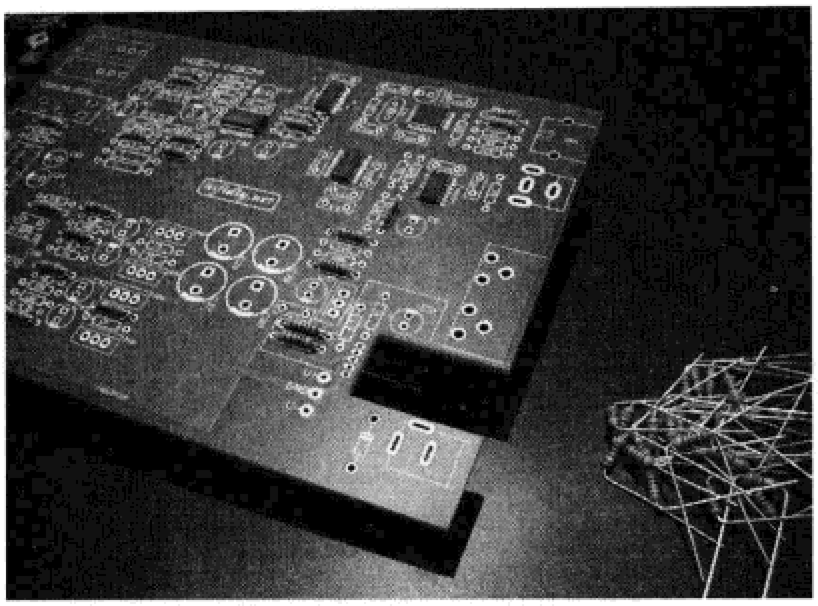
03 本套件采用了高品质优质发烧元件。



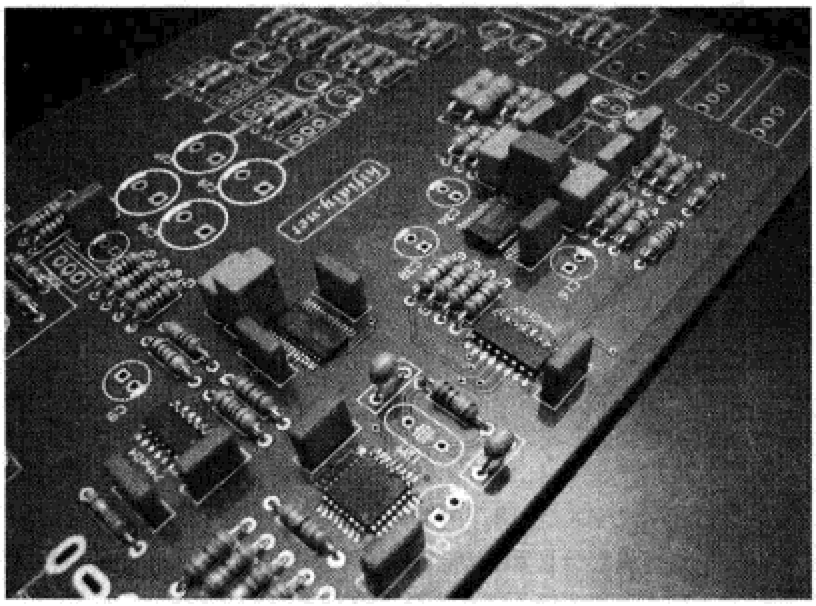
04 首先焊接的是贴片，此时一定要仔细，贴片的焊接直接影响到整机是否成功，要保证不能短路和虚焊，并且焊接时间也不要太长！



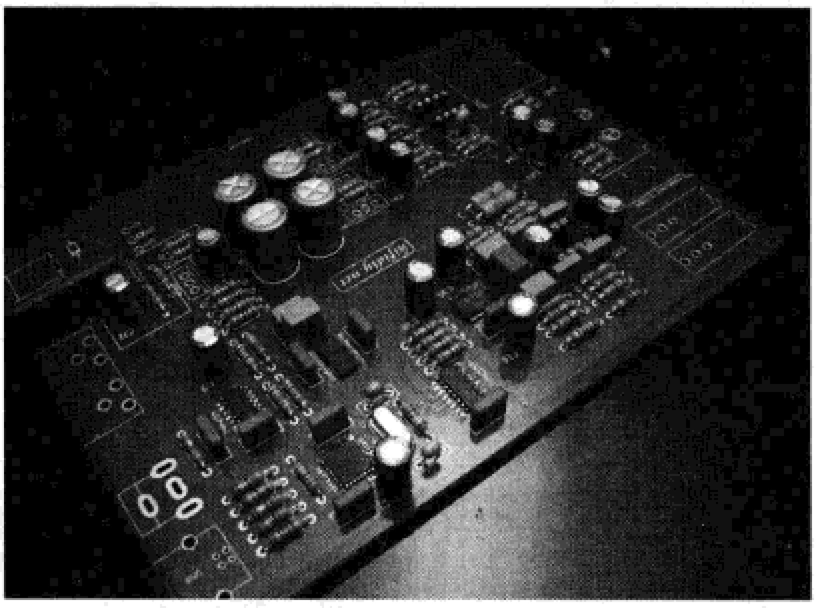
05 焊接元件的原则是：从小到大，首先要焊接的是电阻，在这特别用到了电阻整形器(图中红色的即是)。电阻被弯成这种形状，很容易插进电路板啦！



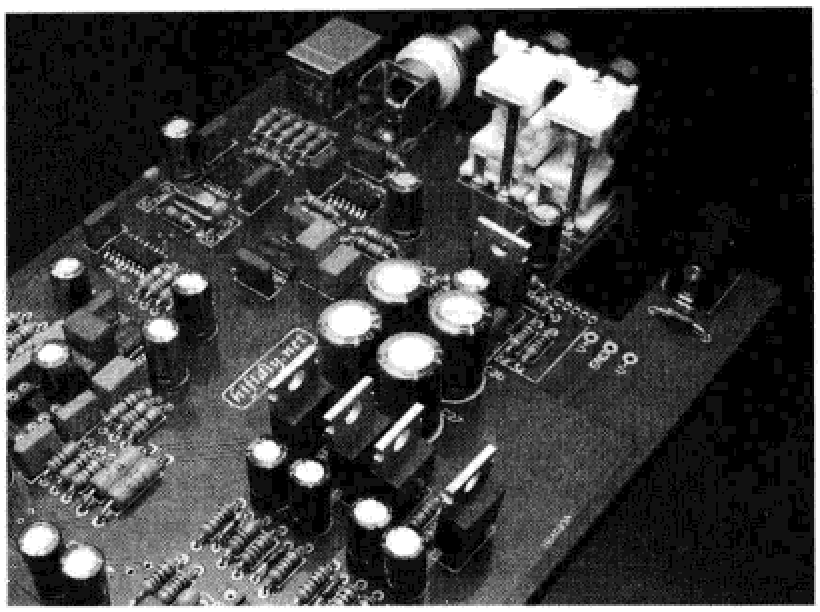
06 开始焊接啦，一定记住要核准阻值。哈哈，旁边弯曲的电阻开始排队待装。



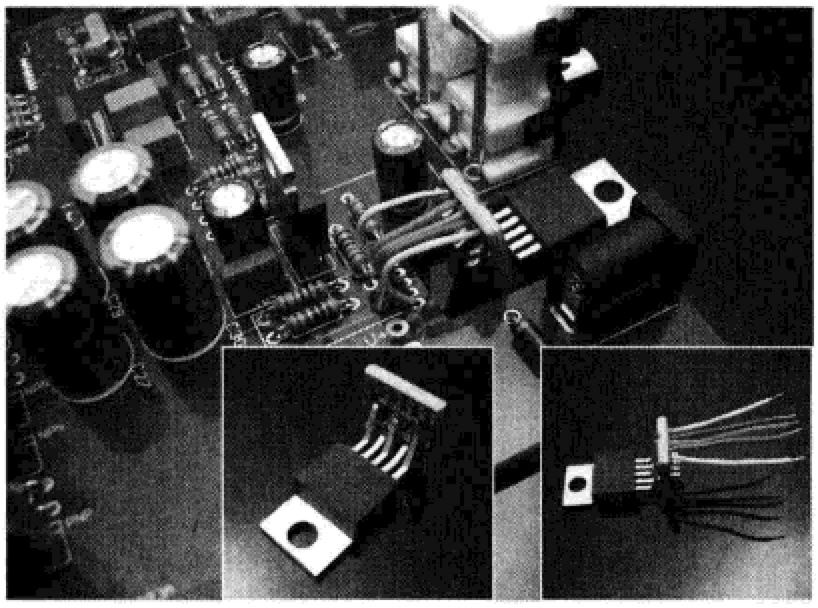
07 焊上电阻和全套WIMA电容。



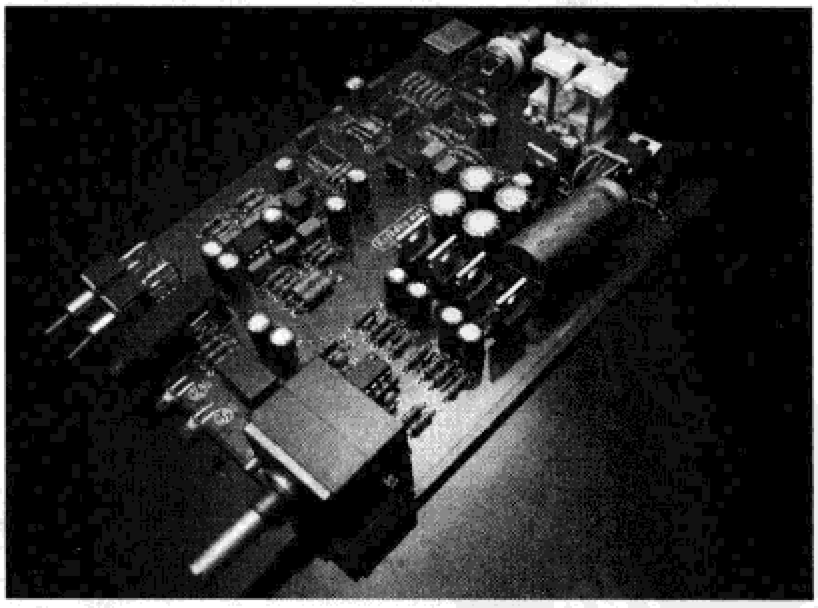
08 焊接上小体积的元器件。



09 安装好电位器及插座。



10 本机的重要安装——LM1875的安装，请您一定参考上面图示方式进行安装。



11 装上大电容后整机就焊接完成了。

调试过程

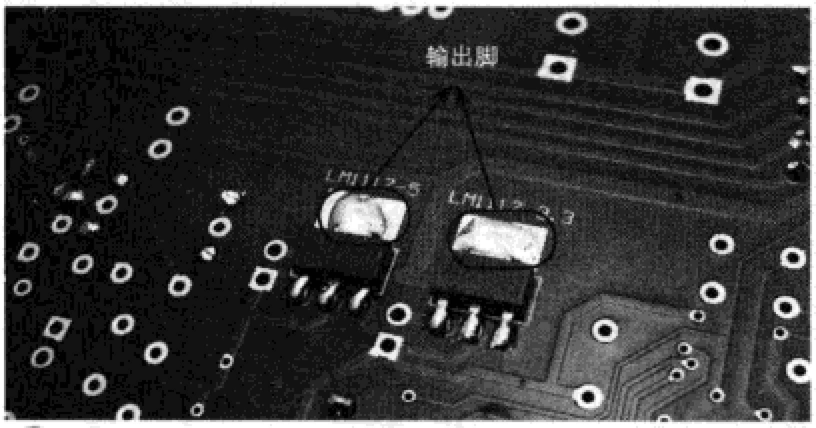
整个成品板完成后，要进行通电调试。因为本机没有调整点，所以，只要您认真焊接，基本都能一次成功！

（1）通电前先测量 1117-5.0、1117-3.3 和 7808 稳压块的输出是否对地短路，1117 的输出脚是中间的那个大脚，7808 输出脚是第 3 脚，（测量时万用表黑笔请接 RCA 的外壳金属部分）。通过测量没有发现对地短路点，您就可以放心通电！

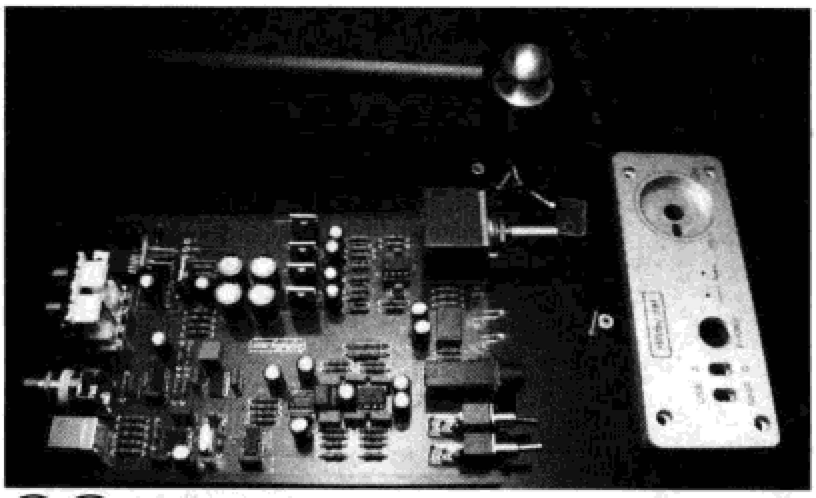
（2）通电前请把所有电容全部检查一遍，极性是否有装反的现象，切记！

（3）通电时，先采用瞬间通断法，即先快速通电并断电，用眼睛观察整个 PCB 板上是否有异常。如果没有异常，再次快速通断 2 次，然后用手快速摸 PCB 板上的所有 IC，看是否发热。如果发热异常，请仔细检查 IC 是否有焊接短路情况。如果没有异常，您就可以放心通电并测量电压。

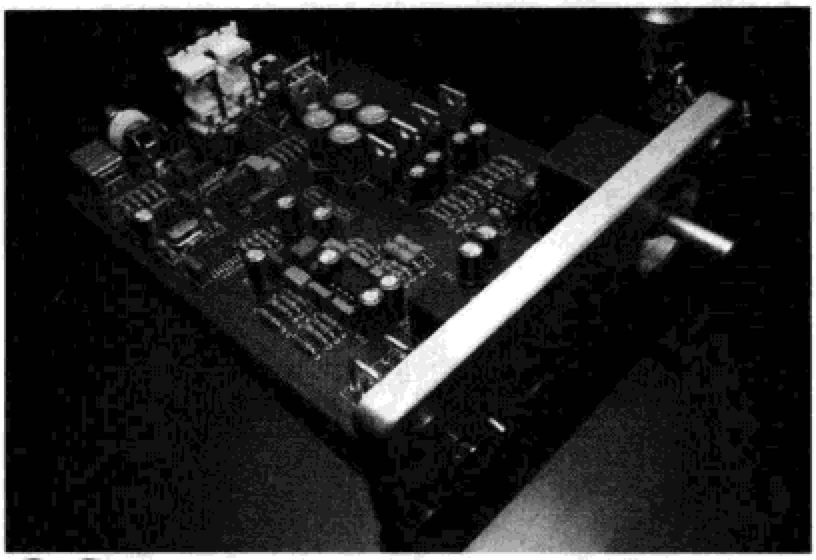
（4）正常情况下两个 1117 输出电压分别为 3.3V 和 5V，运放供电应该是对称的 ±12V 左右。如果测试全部正常，就可以直接进行电路开声测试啦！



01 如果成品板测试完成，那么我们就开始装整机啦，哈哈，很简单的！



02 这是整机部分。



03 先把面板固定，然后套进壳中(请注意机壳底部有个孔的位置为后部)。

04 特别重要的位置开始安装啦，您必须看清哟！机壳底部的孔是用来安装LM1875的，同时这个地方也必须要保证LM1875的金属部分要和机壳绝缘，所以必须要使用到云母片和绝缘垫，请参考右下角图的安装。

05 用内6角锁定面板，然后套进壳中，整个套件安装完毕。

套件销售

套件价格：580元/套+15元邮费。整机价格：780元/台+15元邮费。

购买方式：1. 邮局汇款：北京市崇文门夕照寺街14号A座，《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明DAC套件

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/

音箱基础知识

扬声器的低音与锥盆可驱动空气体积

◎曾念民

常常有朋友问我5英寸的扬声器低音如何？下潜如何？8英寸扬声器低音又如何？下潜又如何？想了解这些问题，我们就要从扬声器的基本参数——扬声器锥盆可驱动空气体积谈起。

为了便于理解，我们借用了发动机的活塞机械运动的一些概念，将扬声器椎盆可驱动空气体积（Vb）称为“排气量”，将扬声器有效线性位移称为扬声器有效“冲程”。

扬声器排气量是扬声器低音重放能力的重要参数，扬声器排气量和重放频率成反比例，相同音量下重放的频率越低，需求的排气量越大。例如，在相同音量下，重放100Hz频率的音频信号，需要1L的排气量，重放50Hz频率的音频信号就需要约2倍的排气量。排气量又和音量成正比例，音量越大，需求的排气量也越大。例如，重放50Hz低频100dB的声压需要2L的排气量，音量提升到103dB声压就需要约两倍的排气量。

扬声器振动面积可以用直尺直接测量，用测量结果计算出圆的面积，这对于音箱设计非常重要。

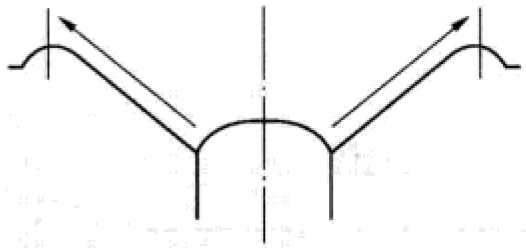
扬声器的冲程在相关的手册中可以找到，就是扬声器的最大线性位移。

用扬声器振动面积×扬声器冲程可以得出扬声器排气量（Vd）。

扬声器排气量决定了低频重放的频率和音量。耳机用的扬声器排气量很小，虽然能重放20Hz的低频，但是音量很小，必须贴着耳朵听。迪斯高舞厅用的双18英寸扬声器排气量很大，但是由于音量很大，低频下限也只能重放到50Hz，由此可知，不谈音量，空谈低频重放频率毫无意义。

重量	2.3kg
音圈直径	25mm
直流电阻	4.2Ω
音圈卷宽	17.5mm
音圈线材	耐高温SV线
音圈骨架	耐高温AL
磁路形式	外磁式磁路
磁体材料	高性能铁氧体
力系数(BL值)	6.3N/A
磁隙高度	6.0mm
最大线性位移	5.8mm
顺性	1399μm/N
机械Q值	1.98–
电Q值	0.41–
总Q值	0.34–
振动质量	21.7g
等效容积	98.5L

扬声器的基本参数



扬声器振动面积的计算

扬声器排气量的计算

扬声器振动面积和冲程一般在产品说明书中可以找到，如果没有也没关系，可以参考附表。

要想提高扬声器的排气量只能从扬声器的冲程和扬声器的振动面积着手。在常用的扬声器的种类中，冲程最小的是纸折边的“古董”全频扬声器，这种扬声器冲程为 1~2mm，冲程最大的是汽车“低音炮”扬声器和一些高档 Hi-Fi 低音扬声器。这种扬声器冲程可以做到 7~10mm，家用音箱扬声器的冲程一般在 4~7mm。现在家用音箱基本上采用长冲程的扬声器，只有对扬声器效率有要求的专业用扬声器和纸折环全频“古董”扬声器是短冲程的。

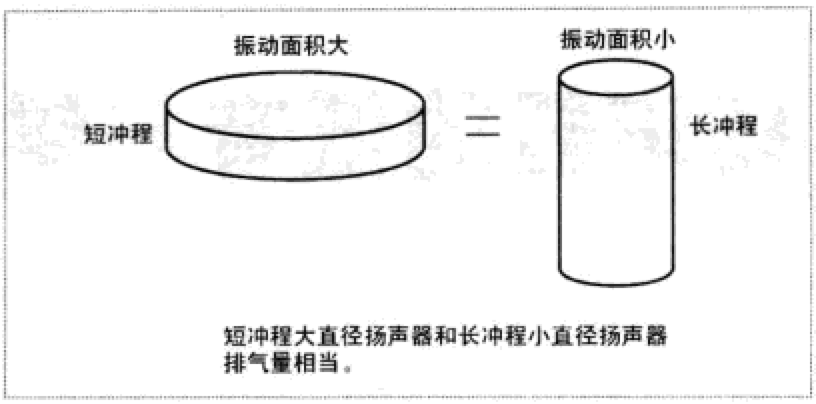
一个 12 英寸的纸边折环“古董”级全频扬声器，由于冲程只有 2mm，其排气量与冲程达到 8mm 的 6 英寸扬声器相当。这就是现代的扬声器虽然直径小，但是低频还不错的原因，这个特点相当吸引人，可以大幅度减少音箱的体积。

长冲程扬声器和短冲程扬声器的特点比较

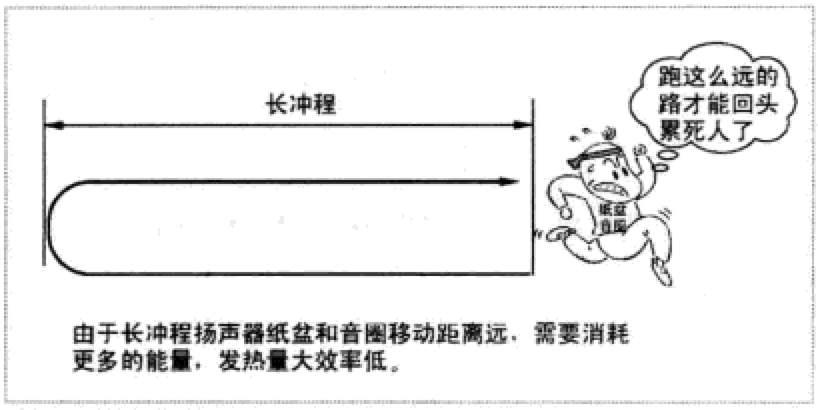
排气量相同的情况下，长冲程扬声器直径小，音箱的

附表　优质扬声器排气量，低频下限和音量参考表

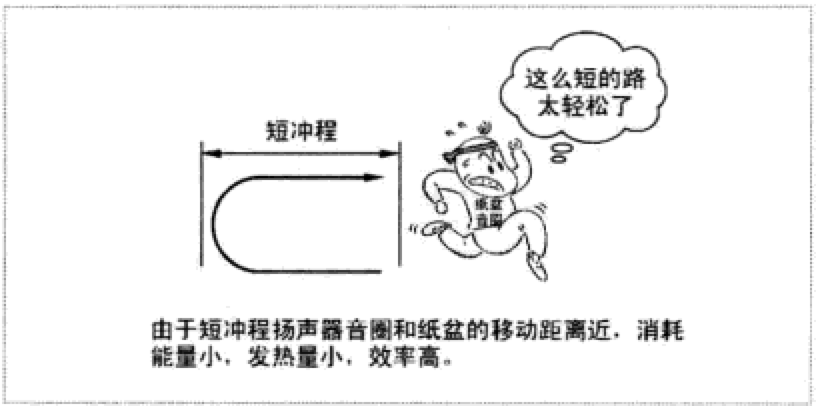
扬声器直径 (mm)	振动面积半径 (mm)	冲程 (mm)	排气量 (L)	低频下限 (Hz)	1m处音量 (dB)
106(4英寸)	42	3	0.017	65	95
133(5英寸)	48	4	0.029	55	97
176(6.5英寸)	64	5	0.064	45	99
201(8英寸)	83	6	0.13	40	102
260(10英寸)	105	7	0.24	35	108
310(12英寸)	125	8	0.39	30	112



两种扬声器的比较



长冲程扬声器效率低



短冲程扬声器效率高

体积也小。特别是汽车用“低音炮”扬声器，汽车上空间有限，为减少音箱体积，提高扬声器排气量，汽车“低音炮”扬声器都是超长冲程设计的，看起来样子很特别。

长冲程扬声器由于冲程长，音圈和纸盆的移动距离远，需要消耗更多的能量，使得扬声器的效率低，要用大功率的功放来推动，因为发热量大，扬声器散热能力要加强。

短冲程扬声器音圈和纸盆的移动距离近，消耗能量小，发热量小，效率高。

长冲程扬声器由于冲程长，音圈和纸盆的运动速度快，纸盆强度要求高——纸盆小而厚，有时甚至要用金属或编织纸盆才能保证纸盆重量轻和强度高。短冲程扬声器由于冲程短，音圈和纸盆的运动速度慢，纸盆强度要求低——纸盆大而薄。

长冲程扬声器由于冲程长，音圈和纸盆的运动速度快，折环又软，特别是小直径扬声器，需要依靠音箱来抑制纸盆的运动，从而限制扬声器的冲程。

还可以增加扬声器振动面积来增加扬声器的排气量，增加扬声器振动面积最简单的方法就是增加扬声器的直径。

在家庭里中等音量下各种直径的长冲程扬声器一般可以做到多少低频下限呢？参考上面附表可知：4英寸扬声器65Hz，5英寸扬声器55Hz，6英寸半扬声器45Hz，8英寸扬声器40Hz，10英寸扬声器35Hz，12英寸扬声器30Hz。这还是在中等音量的情况下，如果要求大音量，追求比较震撼的效果（迪斯高），那么需要用18英寸的扬声器才能达到足够的音量来重放40Hz低频。

还有一种常用的方法，就是依靠音箱来提升扬声器的振动面积。

一个设计好的倒相音箱可以增加扬声器在倒相管共振频率附近约2倍的振动面积，相当于增加了该频率处2倍的扬声器排气量——这是倒相音箱的一个优点，而密闭音箱没这个功能。当然也可以反过来理解，在倒相管共振频率附近的扬声器只需要用一半的冲程。

增加扬声器振动面积最明显的要数号角音箱，当年爱迪生发明留声机时是靠唱针带动一个很小的振膜，这个振膜的冲程和振动面积都很小，只能发出很细微的声音，爱迪生通过一个号角把振膜的振动面积增大，音量才随着增大。现今号角还在使用，常用在对音量要求比较高的专业场合，用来增加中高音扬声器的振动面积。

我们明白了低音和排气量的关系后，对我们选择扬声器和设计音箱有很大的帮助。

例1：有个“古董”12英寸短冲程全频扬声器，通过计算得知和6英寸长冲程扬声器排气量相当，而12英寸音箱体积很大，不适合近距离听音，使得听音距离远。由于音量不能太小，所以就要设计成倒相，迷宫或号角式音箱来增大扬声器振动面积，提升低频音量。假如设计成密闭式音箱，因排气量太小，会造成低频不足。

例2：有长冲程4英寸扬声器一个，由于长冲程小直径扬声器需要音箱来限制扬声器的冲程，而障板式音箱不能抑制

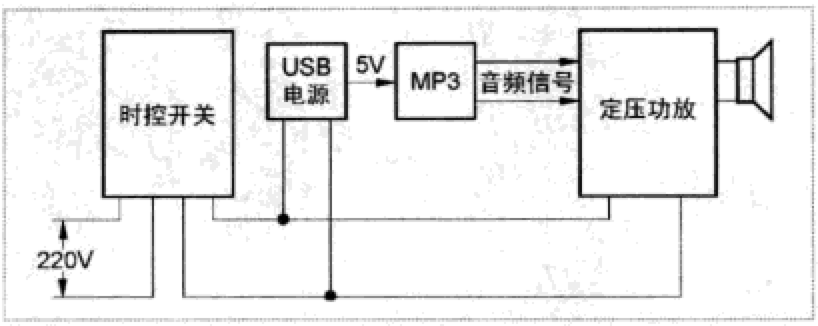
百元打造全自动MP3定时播放系统

◎华良云

随着电子技术的发展，磁带将逐渐被淘汰了，取而代之的是各种性能都比它优越的MP3。我利用车载MP3，取代了一直稳坐单位音响系统头把交椅的卡座，花费不过百元，就把我校的校园音响播放系统改造成了全自动MP3定时播放系统，实现了校园音响系统数字化和自动化。它在学生早上起床、就餐、课外活动期间，自动一首又一首地在校园播放我事先准备好的MP3音乐，从不误事。本套系统设备简单，造价低廉，连接容易，性能稳定，现将我的创新成果拿出来与大家共享。

所需设备：车载MP3播放器、微电脑时控开关、5V电源适配器、信号线。

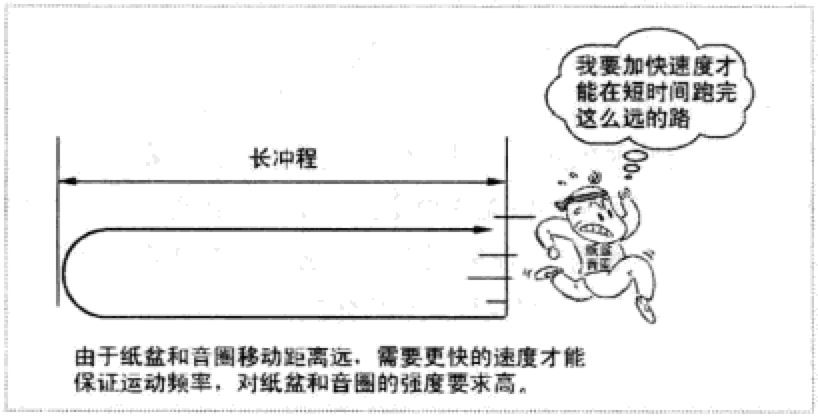
这套系统的核心部件是车载MP3播放器，我用的是纽曼C9型，这款MP3有三个关键特点适合本系统：一是支持外置USB电源直接供电工作。二是当外置USB电源供电时，无



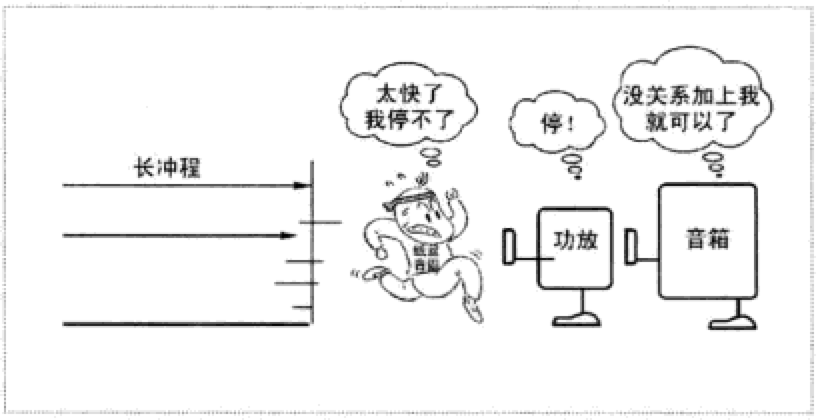
系统连接图

需任何操作，MP3就自动把内存的曲目循环播放，直到外置电源停止供电，并且外置电源再次供电时，又自动从上次断电时播放的曲目开始播放（这是车载MP3的共同特点也是我选用车载MP3播放器的原因）。三是本MP3播放器有耳机插孔，工作时可直接输出双声道音频信号。

微电脑时控开关是这套系统的另一个关键部件，这款定



长冲程扬声器要求纸盆小而厚



纸盆运动，所以不能选择障板式。虽然号角式音箱能大幅度提升振动面积但音箱体积大，用长冲程扬声器带来音箱体积小的优势将丧失，这是不划算的设计，所以只能选择倒相和密闭式。倒相式音箱对于扬声器冲程的限制比较困难，设计时要非常细心，而密闭式音箱将会容易设计些。

例3：短冲程4英寸全频扬声器，由于是短冲程，振动面积又小，低频下限只能做到120Hz。如果对低频要求高，可以做成“卫星”小音箱，加低音音箱来重发50~125Hz频率，或者做成号角音箱，大幅度提升4英寸全频扬声器的振动面积，以此扩展低频下限。

例4：设计一款舞台用音箱，舞台演出用的音箱要求体积小、效率高，声音大。选择短冲程，大直径（12英寸以上）扬声器来配合倒相式音箱并选择高效率的号角高音即可。之前我们知道频率越低，需求排气量越大，声音越大，排气量也越大，当排气量不变时，为提高声音可以选择低频频率下限高点（一般为60～70Hz）。假如我们选择长冲程扬声器，由于效率低，大音量下发热严重，很容易烧毁扬声器。

由此我们明白了扬声器低频下限和排气量（锥盆可驱动空气体积）、音量的关系，以及短冲程扬声器和长冲程扬声器的一些特性，这对今后认识音箱的作用会很有帮助，在扬声器选择和设计音箱时，可减少不合理性，不会盲目地去拿一个4英寸扬声器把低频下限设计到50Hz，尽管很多4英寸扬声器的f_0可以小于50Hz。

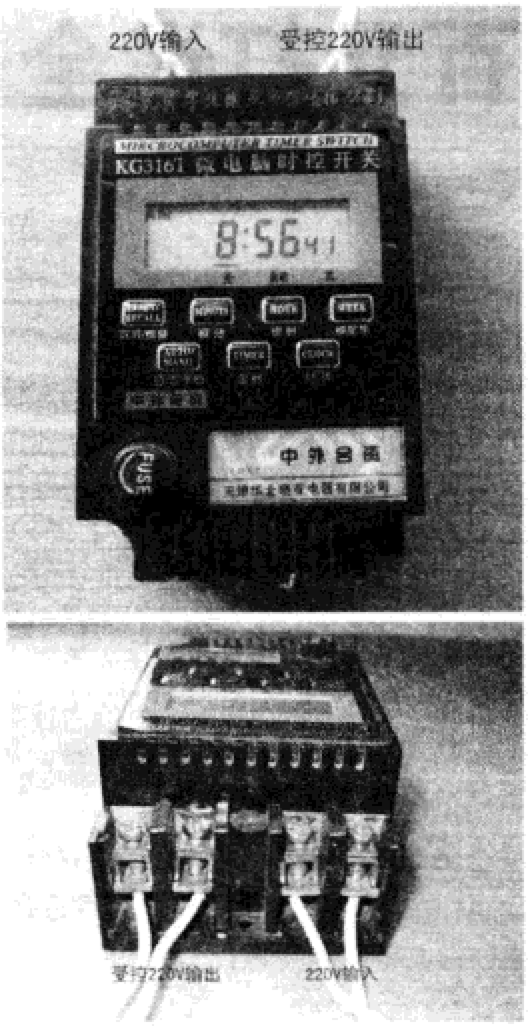
纽曼C9型MP3播放器

时开关早在10年前就已现身市面，可提供一周内6个任意开关时段，当然也可以是每天的6个任意开关时段，220V，最大供电电流60A，这对于单位（学校或机关）语音系统已经足够了。

我们提前将需要的曲目存入MP3，微电脑时控开关按我们设定的时段定时给MP3和定压功放（扩音机）供电， MP3加电后自动播放，输出音频给功放，功放电源开关置于常开状态，加电后自动开始工作，将音频放大后驱动音箱系统。

小结

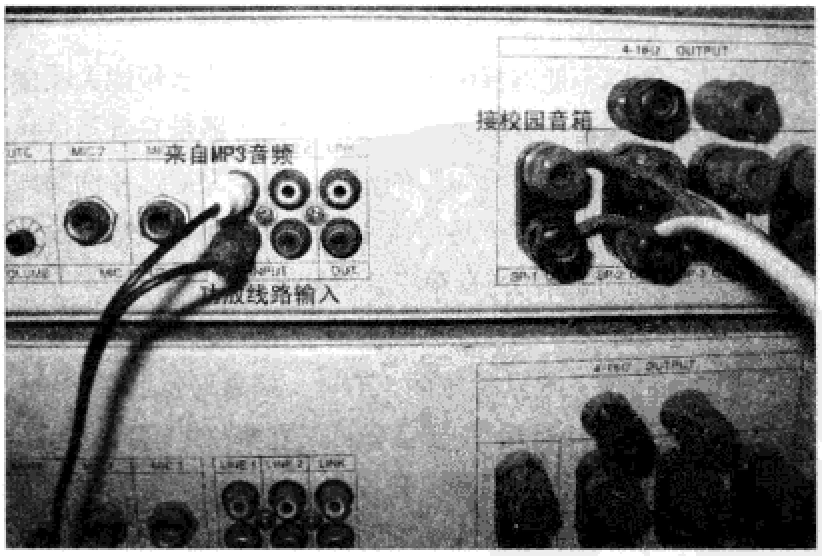
笔者为寻找适合本系统的MP3确实下了不少功夫，功夫不负有心人，最终找到该款功能比较丰富、配备有遥控器、



微电脑时控开关

价格比较便宜、操作也方便的车载MP3（有说明书，一看就会操作），也许纽曼公司也不会想到他们制造的车载MP3还能用在这儿。这套系统所用设备市面上很容易买到，不包括功放，只购买车载MP3和微电脑时控开关，其价值不过百元，而且安装简单。根据实际应用证明，性能很稳定。有了它我还真瞧不上动辄几千元所谓专业的XX型MP3定时播放器，尤其适合像我们学校这种既缺少银子又想实现点现代化的单位。

系统集成实物图



系统工作过程

认识“高清播放机”的“芯”

◎吴红奎

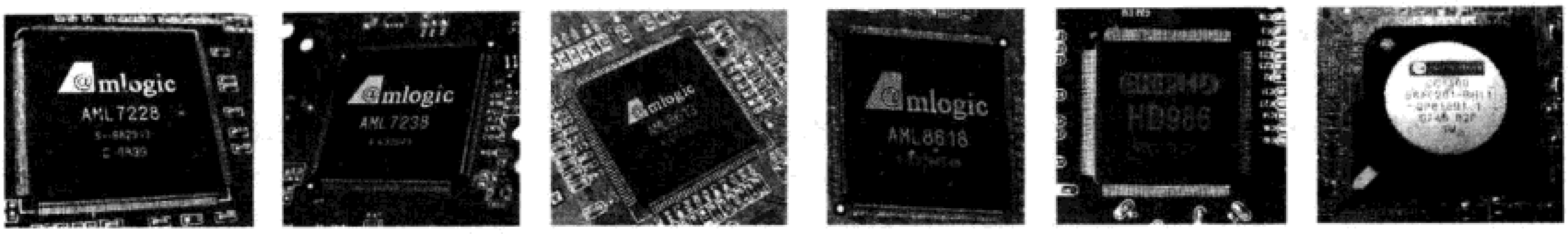


图1　部分用于Multimedia Hard Disk Player的媒体处理器

高清播放机的英文表述大多是“Multimedia Hard Disk Player”，意思是“基于硬盘的多媒体播放机”，因此也有称之为“HDD Player”的，即“硬盘播放机”。这类设备的基本特征是内置硬盘或者从PC的硬盘上读取媒体文件进行播放，硬盘上的文件通过USB或者1394端口从PC拷贝到本机，也可以通过RJ45端口直接从网络下载，支持多种音频、视频文件格式。目前市售的机型都支持或多或少的高清音/视频文件的解码，这也许是它被称为高清播放机的原因。

所谓高清，和时代是相关的，CD、超级VCD、DVD都曾被称为高清节目，目前高清音频大致是指SACD（Super Audio CD，超级音频光盘）和DVD-A（Digital Versatile Disc Audio，DVD音频光盘），高清视频则包括蓝光DVD、HD-DVD等，现在DVD、H.264、mkv算不算高清，目前恐怕就有争议，尤其是纯封装格式的mkv，它文件内部的视频编码格式可以有很多种，例如：H.264、VC-1、Divx/Xvid、MPEG-2等。高端机型会同时内置光驱，各种光盘通吃，更像内置硬盘的UDP（Universal Disc Player，全能光盘播放机），较为廉价的产品则一般不会内置硬盘或者将硬盘作为另外购买的可选件，当然也不会内置光驱了，也不一定支持网络下载和USB或者1394端口直接从PC读取，媒体文件的来源更多是依靠USB端口和媒体卡口，从U盘、SD卡或者移动硬盘读取媒体文件。

Multimedia Hard Disk Player最令我们感兴趣的是它所具备的高清音/视频解码能力，目前市场上也是以“高清播放机”、“高清多媒体硬盘播放器”之类的措辞作为此类产品的广告宣传亮点，与基于光盘的UDP相比，不但便宜很多，还便于携带。

不过，Multimedia Hard Disk Player真的像媒体宣传得那么神乎其神吗？这要从认识它的“芯”（Media Processor，媒体处理器）开始。

Multimedia Hard Disk Player在电路上的特征，软件是嵌入式的，硬件则是基于SoC（system on a chip，片上系统），即单片嵌入式媒体播放机，由一个单片式的媒体处理器加上若干外围辅助电路组成，所以说，一部Multimedia Hard Disk Player的基本性能决定于它所采用的媒体处理器。

Multimedia Hard Disk Player的“芯”

Multimedia Hard Disk Player所使用的媒体处理器大致有如下几种（用得相对比较多但是不限于这些，具体称呼也可能有所不同）：

▲ 美国Amlogic（晶晨半导体）公司的AML7228、AML8613。AML7228原本是为数码相框而开发的，AML8613是AML7228用于硬盘播放器的版本，不支持VGA输出，两者对RMVB文件的支持都比较好，分辨率最高为1024×576，码率最高为1800k。一般而言，支持RMVB就意味着支持RM，本文不再另说明。如果仅说明支持RM，则至少说明对RMVB的支持会有问题或者根本不支持。

国内公司应用Amlogic方案比较多，如天敏、汤姆逊RCA、美如画、图美、华旗、创维、元谷等，国外品牌很少。例如创维的i.kan CB100采用了AML7228，元谷的魅影采用了AML8613。

Amlogic的AML7238在7228的基础上增加了网络功能，集成了10M/100M网络接口，支持Wi-Fi和P2P传输，它的简化版本是AML8618。

另外，传闻Amlogic将要推出AML8628H和8638，未经官方证实的资料说，它们支持RMVB、H.264、1080p解码，不支持VC1和mkv，不清楚是否支持DTS。1080p中的“p”不管是大写还是小写，都是指逐行扫描，同样的，如果是“i”，则是指隔行扫描，一般而言，只要前面的数字相同，带“p”的一般都支持带“i”的，反之，一般就不行。

▲ 美国Sigma Designs（西格玛设计）公司的EM86xx、SMP86xx系列，详见表1。

▲ 中国台湾Mstar（Mstar Semiconductor，晨星半导体）公司的

6M68，原本是针对平板电视机设计的，支持RMVB，不支持VC-1、wmv，也不支持DTS和网络功能。6M68对RMVB文件码率支持最高超过10M，分辨率支持可达1280×720，可以说是支持网络上的所有RMVB流媒体。但是，6M68对很多媒体文件中的音频信息支持不够好，常常会无声。天敏的炫影DMP400、图美的赛点RM10采用了6M68。

▲ 国产的HD986，制造商不详，176引脚的LQFP（Low-profile Quad Flat Package，薄型四侧引脚扁平封装）封装。IC上的公司标识是解决方案提供商或者方案销售商的，用于Multimedia Hard Disk Player的HD986，公司标识是CHIPHD。HD986原本是用于MP4的，公司标识是CHIPRISE（芯舞科技），与它功能、封装完全相同的还有目前MP4上应用的SC8600、AHD1080，SC8600的公司标识为Sochip（索智科技），AHD1080没有公司标识，中国CUBE（酷比魔方）公司的H100HD采用了AHD1080。上述三款IC的设计公司均在深圳，它们均支持RMVB（最大分辨率为1360×768，最大清晰度为768p），音频解码支持DTS，至于它们不支持什么，资料有限，目前不清楚。

▲ 中国C2公司（C2 Microsytems，北京希图视鼎科技有限公司）的CC1100，BGA（Ball Grid Array，球栅阵列封装）封装，原本是针对机顶盒开发的，支持局域网和节目录制，支持H.264和VC-1，但是对流媒体的支持有限，仅支持RM，未见明确支持RMVB，而且码率最高支持800k左右，因此在Multimedia Hard Disk Player上的应用不多，元古公司的魅影RM3500采用了它。C2公司还有一个与CC1100相似的CC1200，目前尚未发现应用实例。

▲ 美国Intel公司的CE2110与CE3100，都是针对IPTV和机顶盒设计的，FC-BGA（Flip Chip Ball Grid Array，倒装芯片球栅格阵列）封装。CE2110集成了10M/100M网络接口，支持Wi-Fi和P2P传输，支持RMVB，集成的图形处理器支持3D加速，最大支持512M内存，集成了PCI控制器，支持多种外设，支持DTS解码，但是视频只能支持到标清，不支持高清。用于Multimedia Hard Disk Player的实例不太常见，中国汤姆逊RCA的PC6-PC采用了它。CE3100支持FLASH，目前未见有在Multimedia Hard Disk Player中的应用实例。从采用CE3100的机顶盒来看，它支持某些格式的1080p高清节目，内存最高支持768M。

需要说明的是，更为早期的Multimedia Hard Disk Player并没有专门的媒体处理器可用，市场名称可能也不是Multimedia Hard Disk Player。所用的媒体处理器是基于单片机或者FPGA（Field Programmable Gate Array，现场可编程门阵列）等通用集成电路，这些通用IC的制造商，常见的有TI（Texas Instruments，德州仪器）、Philips（飞利浦）、Broadcom（博通）等，除了所支持的文件格式以及功能比现在市场上的产品少以外（因为采用的是多芯片结构，如果内部固件做得好），音频、视频的性能还是很不错的。

在用于Multimedia Hard Disk Player的媒体处理器方面，Sigma Designs可谓是后来者居上，从而成为目前的主流。Sigma Designs的媒体处理器升级换代很快，市场细分也最详细，最新产品支持蓝光和日本松下与索尼公司联合推出的视频摄像格式AVCHD（Advanced Video Codec High Definition，高清晰度的高级视频编解码），同时集成了新版本的HDMI（High Definition Multimedia，高清晰多媒体接口）。高度集成就意味着高性价比和比较低的低技术、生产门槛，考验设备制造商的主要就是工业设计能力和市场开拓能力了。

上述媒体处理器公开的技术文档都不太容易找得到，Sigma Designs的虽然很简略，但总算是有，具体如表1所示。其中，EM8622L、EM8620L、EM8626L的引脚功能是兼容的。

Non-Macrovision Version的意思是“无Macrovision版权保护的版本”，Macrovision Version是一种应用广泛的防

表1 Sigma Designs公司的媒体处理器的主要技术性能一览表

型号※		HDMI	HD解码器	音频DSP (MHz)	VC-1	H.264	wmv	mkv	蓝光	AVCHD	SATA	SDIO	RMVB
M	Non-M												
EM8510	EM8511	无	无	1×200	×	×	×	×	×	×	无	无	×
EM8560	EM8561	无	无	1×200	×	×	×	×	×	×	无	无	×
EM8620L	EM8621L	无	1	1×200	×	×	✓	✓	×	×	无	无	×
EM8622L	EM8623L	无	1	1×200	✓	✓	✓	✓	×	×	无	无	×
EM8624L	EM8625L	无	1	1×200	✓	✓	✓	✓	×	×	无	无	×
EM8626L	EM8627L	无	无	1×200	✓	✓	✓	✓	×	×	无	无	×
EM8628L	EM8629L	无	1	1×200	✓	✓	✓	✓	×	×	无	无	×
SMP8634	SMP8635	V1.2	2	2×300	✓	✓	✓	✓	✓	✓	无	1	×
SMP8642	SMP8643	V1.3a	2	3×333	✓	✓	✓	✓	✓	✓	2	1	×
SMP8644	SMP8645	V1.3a	2	3×333	✓	✓	✓	✓	✓	✓	2	1	×
SMP8652	SMP8653	V1.2	1	1×333	✓	✓	✓	✓	×	×	1	2	×
SMP8654	SMP8655	V1.3a	1.25	1×333	✓	✓	✓	✓	×	×	2	无	×

※ M：Macrovision Version，Non-M：Non-Macrovision Version。

盗版技术，需要付费认证，光盘和播放机均需要认证。目前使用这种保护技术的软件发行商在全球超过了3000家，蓝光和HD-DVD等高清节目光盘也大多采用了这种技术。Macrovision能够有效的防止非法拷贝与复制，既可以全部保护还可以部分保护，也可以将部分降级时使用。也就是说，Macrovision认证的光盘，如果被非法拷贝或者在没有通过Macrovision认证的播放器上播放，有两种可能：不能正常播放或者被降格为非高清节目播放。换句话说，从网络获取高清节目源即使是合法的，如果播放机没有通过Macrovision认证，也难以进行高清解码。因为Macrovision认证对IC制造商和设备制造商而言都是要付费的，所以“Non-Macrovision Version”的芯片价格自然会便宜不少。

“Non-Macrovision Version”版本目前是 Sigma Designs 公司特有的，这个版本和 Macrovision Version 版本的区别只是此种版权保护的有无，推出这个版本的目的当然也是出于成本的考虑，对设备制造商来说，低成本当然是好的。对最终用户消费者来说，内置的版权保护就像 DVD 播放机的区码一样，有利也有弊；对于一些品牌机的专用附属设备，版权保护功能有时候也的确不是必要的。不过实际的情况是，独立销售产品越来越多的采用了“Non-Macrovision Version”版本，更有甚者，一些产品广告甚至有了“Non-Macrovision Version”版本性能更优秀的说法。

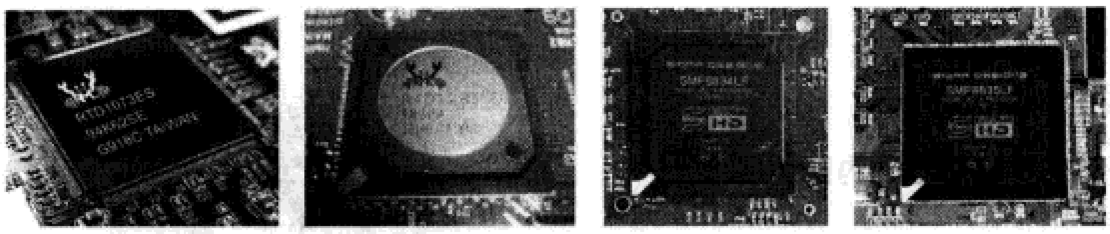


图2 RTD1073/RTD1283与SMP8634/SMP8635

表2 SMP8635、RTD1073、RTD1283主要功能的对比

项目与型号	SMP8635	RTD1073	RTD1283
DTS-HD※数字解码输出	支持	不支持	支持
WiFi支持	不支持	不支持	支持
BT下载	支持但是国内不易实现	支持良好	支持良好
RSS支持	不支持	不支持	支持
RMVB、RM文件	不支持	支持	支持
DTS解码	软解码（可选）	软解码※※	软解码
源代码※※※	对目标客户开放	不开放	不开放
SATA支持	不支持	支持	支持
HDMI版本	V1.2	V1.3	V1.3
目标市场	IPTV及其瘦客户机 网络媒体播放机	硬盘播放机 网络媒体播放机 数字媒体服务器	硬盘播放机
封装	BGA	TQFP	BGA

※ DTS-HD（High Definition Digital Theater System，高解析度数字影院系统）是蓝激光影碟和数字影院的伴音格式之一，要支持蓝光影碟，可以说DTS-HD的解码能力必不可少。DTS（Digital Theater System，杜比数字影院系统）是多声道家庭影院的音频格式，一种高码率编码（768～1536kbit/s）的有损压缩格式，能够营造出比AC3更好的影院效果。因为DTS需要美国杜比实验室的授权而且不是免费的，“可选”是对设备制造商而言的，对最终用户而言，却是可能买到采用了EM8635但是并不具备DTS解码能力的机器。

※※ RTD1073有两个版本，RTD1073DD支持DTS解码，RTD1073ES则不支持，RTD1283也是如此。

※※※ 关于固件的“源代码”的开放问题，对消费者而言，虽然没有特别的用处，但是方便性却是有区别的，一旦内嵌的软件有问题，对设备制造商开放源代码的，IC制造商和设备制造商都可以及时发布补丁进行解决，而不开放，就只能等待IC制造商来解决了。

RTD1073和RTD1283与目前主流的SMP8635的对比

Sigma Designs的新产品尽管支持高清，但是不支持RMVB，Realtek（瑞昱）公司新推出的RTD1073和RTD1283弥补了这一不足，除了与SMP863x、SMP864x系列的功能相近，还比较好的支持了RMVB，成为Multimedia Hard Disk Player新品的又一选择。RTD1283比RTD1073多了节目录制功能，主要是为硬盘录像机设计的，其他方面除了封装不同之外，似乎与RTD1073相比并无什么明显不同。海信的MP800H采用了RTD1073，韩国DviCO（迪维科）公司的TVIX HD M-6600A/N采用RTD1283。

不过，RTD1073和RTD1283的发热量都比较大，如果说这个瑕疵可以用外加独立散热器来解决的话，那么它们不支持MiniBD、RBD碟片播放和BD ISO（蓝光影碟镜像文件）文件以及TS原盘中的PGS内嵌字幕，播放高清影片时没有书签功能，不支持外挂字幕的颜色、边框、位置等调整功能就让发烧友感觉有些不爽了。此外，RTD1073支持DTS解码也是有条件的，参见表2。

MiniBD（Mini Blu-ray Disc，微型蓝光影碟）其实并非蓝光影碟，而是普通的红光DVD影碟，只不过影碟上的节目源（软件）确实与蓝光节目源有相似之处，那就是AVCHD。如果你会使用PC上著名的Ghost（克隆）软件，就能比较容易理解RBD（Real Blu-ray Disc，真蓝光碟），它是将蓝光影碟的内容“克隆”到8.5GB的D9光盘上，原始文件同时被压缩了75%～80%，音/视频的品质凭肉眼很难察觉。或者换句话说，RBD是近乎“合法”的“盗版”蓝光影碟，它的出现使HD DVD退出高清市场之后，蓝光阵营的“暴利”梦想再次化为泡影。目前RBD已经有了2.1（RBD Pro，RBD－P）和2.2（RBD Ultra，RBD－U）两个新版本。

SMP863x与SMP864x系列的区别是HDMI端口的版本和对SATA硬盘的支持，解码能力方面并无明显区别，以

SMP8635为例，三者的功能对比参见表2。

两款相似机型的内部结构

韩国DviCO公司的Multimedia Hard Disk Player在国内的市场推广力度很大，其中有代表性的TViX HD M-6500A（以下简称M-6500A）所采用的媒体处理器就是SMP8635，如图3所示。

M-6500A没有内置光驱，需要的话可以通过USB端口外挂，支持内置SATA硬盘但也不是标准配置，是可选件。有意思的是，DviCO的官方网站对M-6500的英文说明是“multimedia hard disk player”，广告语是 “Most advanced jukebox on the planet”，中文意思本来是“世界上最高级的自动歌曲点唱机”，而国内中文媒体大都宣称M-6500是“（终极）高清播放器”，实在有些“雷人”。从公开的市场销售价格来看，M-6500比中国爱视达（Istar）公司的A800还要高几百元。A800采用的是SMP8634且内置了DVD光驱（华硕的DVD-E818A），除了工业设计水平、品牌因素、市场推广力度以外，恐怕还有其他一些耐人寻味的因素在里面。

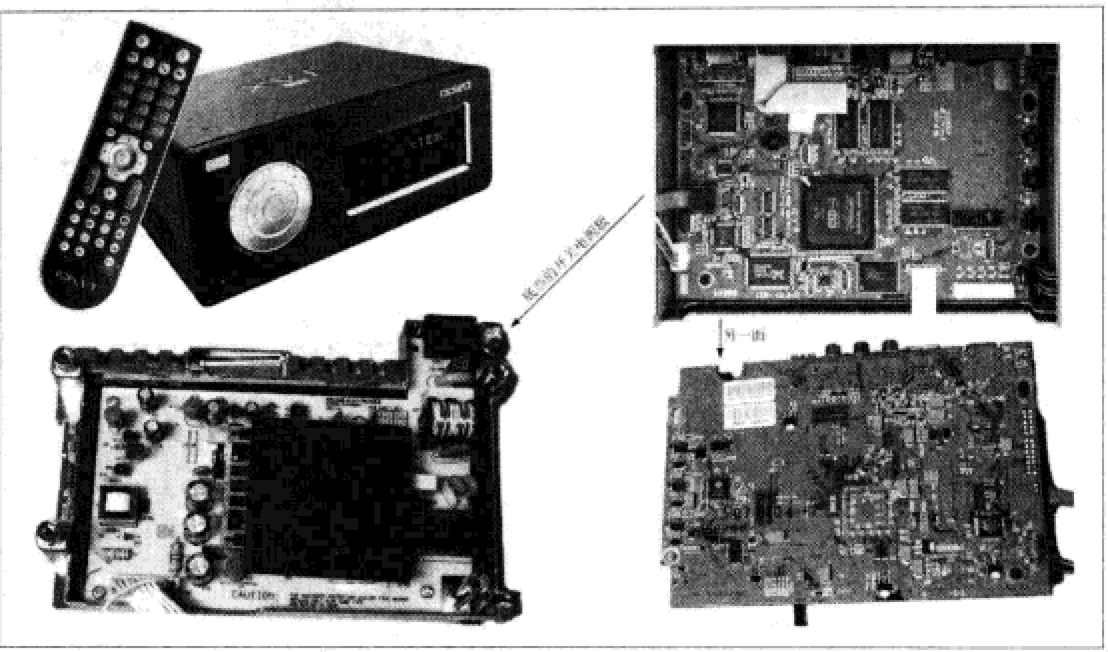


图3 韩国DviCO公司的TViX HD M-6500A

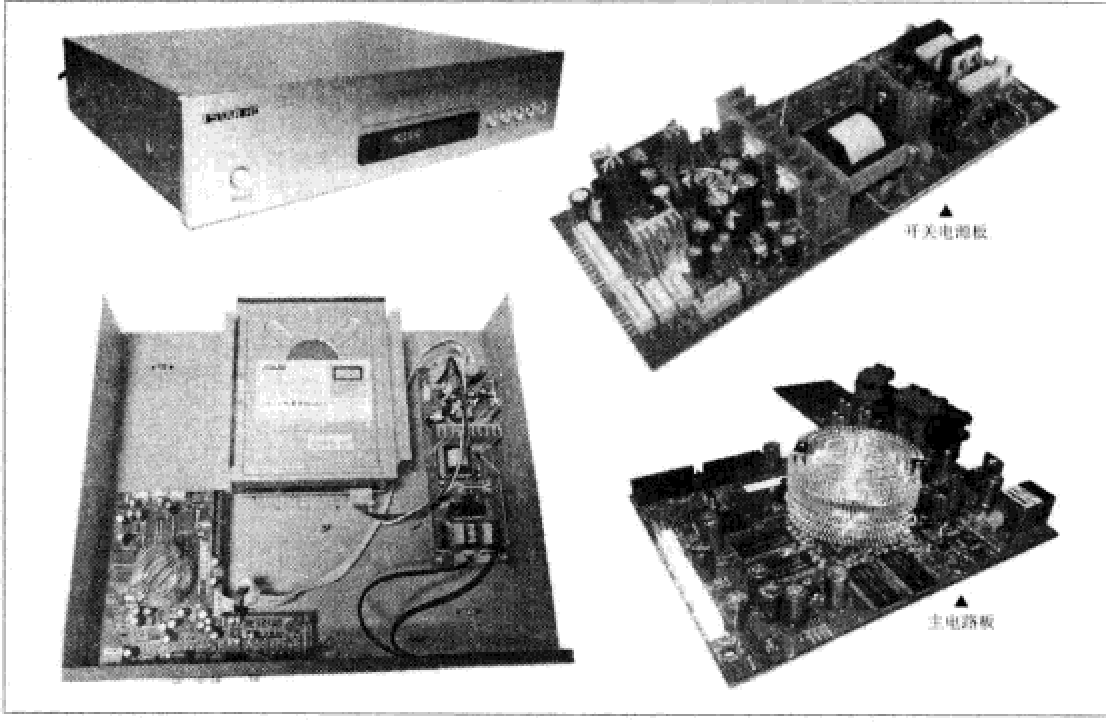
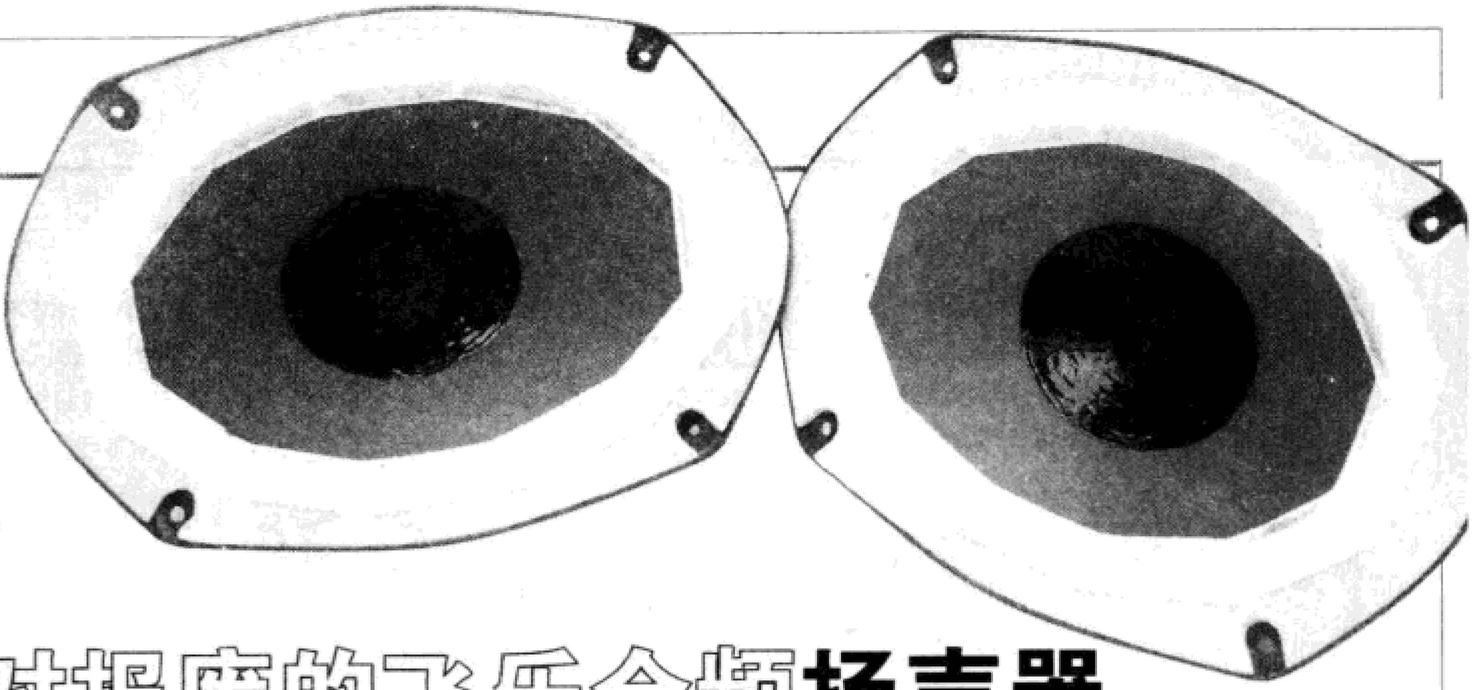


图4 爱视达公司的A800（主电路板上散热器的下面）

从内部电路布局来看，A800 中的 AC-DC 开关电源距离主电路板比较远，而 M-6500A 的 AC-DC 开关电源则和主电路板距离比较近，图 3 中，开关电源中部的一块显眼的黑色方形部件其实是一块绝缘胶垫，以防止开关电源板和主电路板之间发生碰触。无论从安全性还是开关电源对主电路板可能的干扰来看，A800 的布局要比 M-6500A 好一些，不过 A800 的体积要显得大一些。

目前高清节目的主流载体还是光盘，如已经独占鳌头的蓝光光盘，从网络下载或者传播的高清媒体资源都是从光盘上拷贝而来的，并非原始的高清节目源。防拷贝技术大家应该都不陌生，即使已经破解了，又有谁能保证这些节目源还是高清质量？从网络下载到硬盘，高清节目源遇到的最大问题是版权问题，没有可靠的版权保护，那些媒体大鳄们，无论索尼还是华纳兄弟，哪一个愿意将高清片源毫无保留地“施舍”给消费者？当然，MiniBD、RBD是发烧友的物美价廉的选择之一。

从电路结构来看，如果不考虑内置AC－DC开关电源的机型，那些采用电源适配器或者内置电池的Multimedia Hard Disk Player并不比高端的MP4复杂多少。采用SoC的Multimedia Hard Disk Player和MP4相比，都是追求性价比的多功能解决方案而不是性能至上的方案，因此硬件性能是有限的，要用它为主要播放设备来组建追求品质的大屏幕家庭影院并不太现实，作为普通消费者，即对视频和音频都没有特别的要求，只是为了方便地看影碟，Multimedia Hard Disk Player还是比较理想的。至于Multimedia Hard Disk Player应该叫什么，笔者倾向于称之为“媒体播放机”而不是刻意强调它的“高清”能力，尽管它已经或多或少地具备高清的功能。

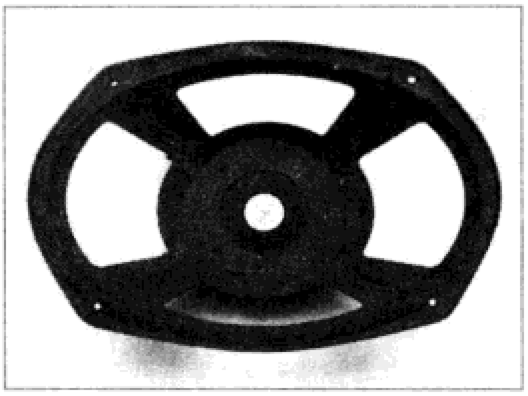


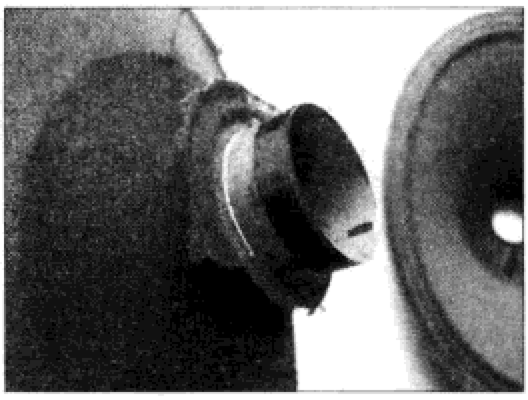
◎倪文贤

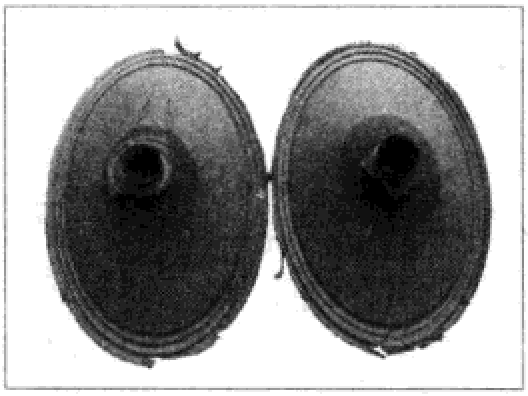
修复一对报废的飞乐全频扬声器

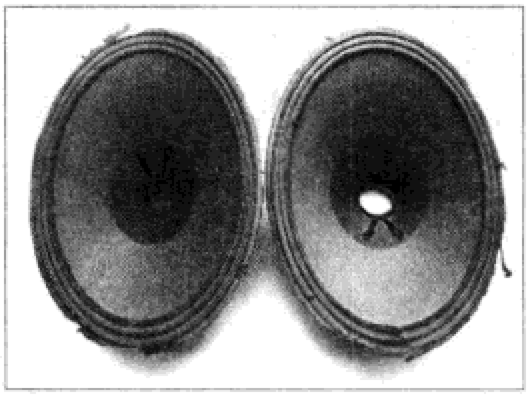
01 在一家音响店的角落里偶然发现了两个飞乐YDT3-18261全频扬声器，该扬声器的额定功率只有3W、椭圆形的，挺有意思的。询问老板后得知这两个扬声器都有问题，一个音圈卡住了，另一个纸盆破损了。我突然产生了一个想法，修好它们，让它们重新“歌唱”，老板可能觉得这扬声器没有价值了，就以接近废品的价格把它们卖给了我。

02 回家后仔细拆开所有部件，把能用的都留下，两个盆架里都有锈斑，一个比较严重。上导磁板全部都锈了，铁屑都进入了磁隙里，难怪会卡住音圈。两个扬声器的弹簧片都不怎么好了，我就直接割了下来，一个纸盆边有破损，两个音圈还是比较完好的。

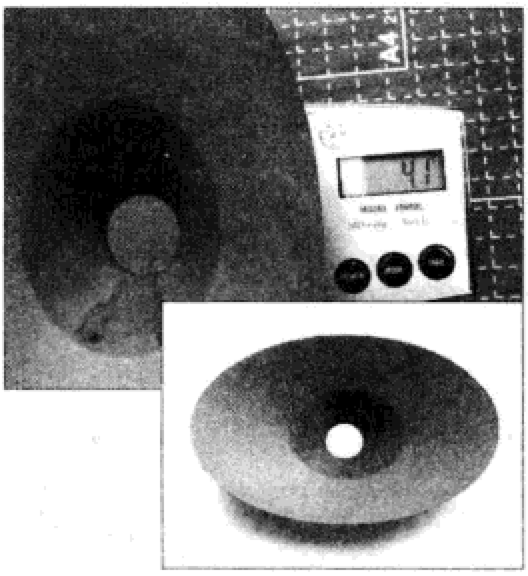




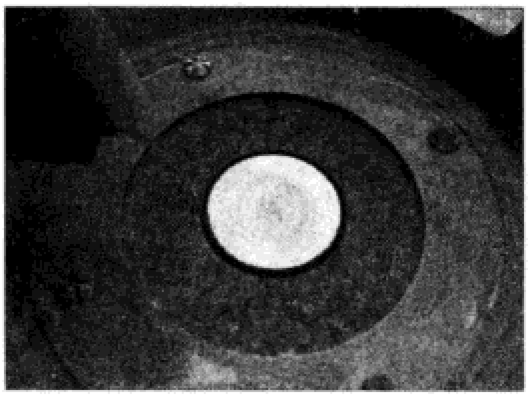




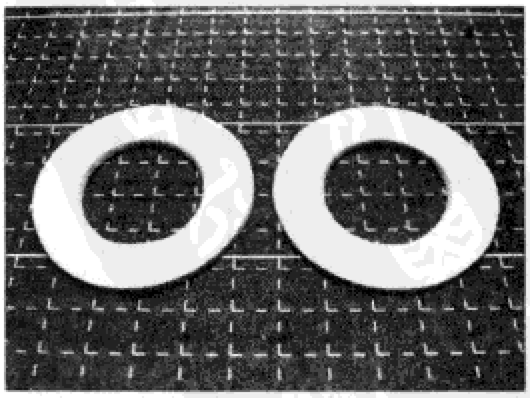
03 把纸盆的折边全部都剪掉，这样正好可以把破损的部分都去掉，留下的纸盆就相对完好，盆的重量只有4.1g，相当轻啦。



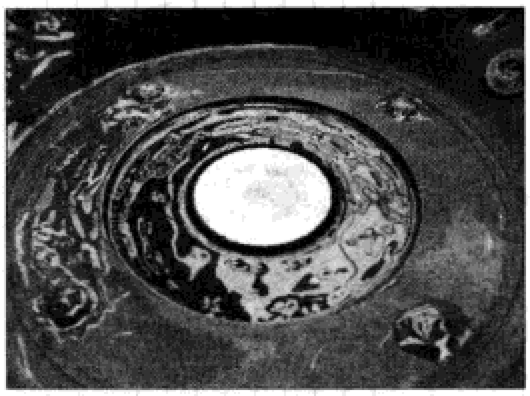
04 接下来重点要处理的是这两个盆架，锈得非常严重，我用刷子刷，用不干胶粘，把表面可以剥落的锈斑都弄下来，然后再细细地清理磁路，里面的铁屑和杂物很多，反复清理了十几次才弄干净。



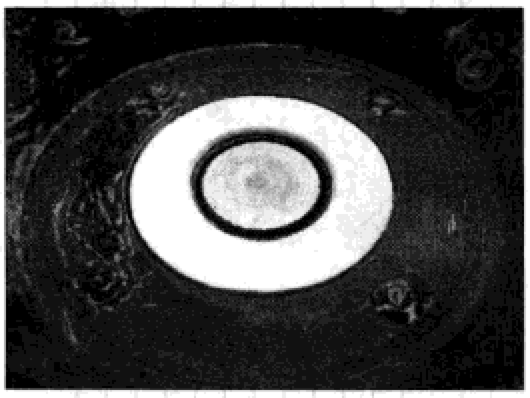
05 用泡沫海棉剪了两个环形，尺寸与导磁板中间那一圈锈斑的面积大小相同。



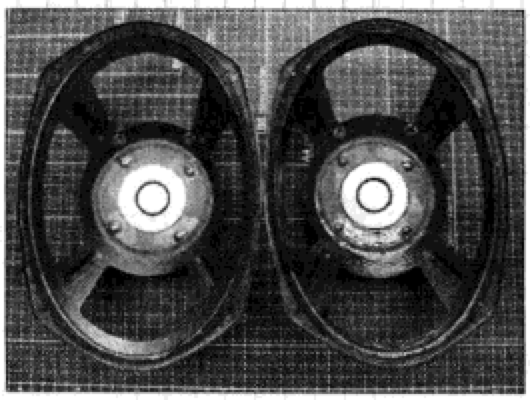
06 在所有生锈的部分都涂上了一层环氧树脂，目的是隔绝与空气的接触，防止进一步氧化生锈，涂到靠近磁隙的地方要非常小心，不能让环氧树脂流进去，否则就麻烦了。



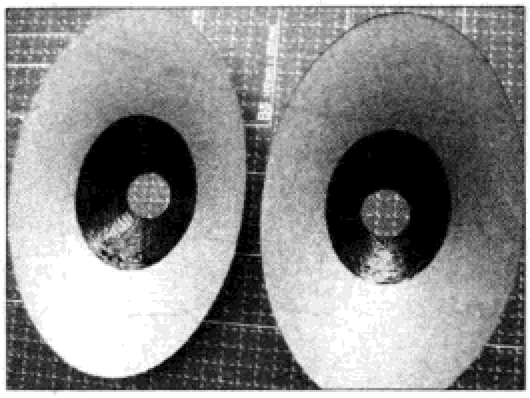
07 涂完后，在胶水还没干时把泡沫海棉环粘上去。



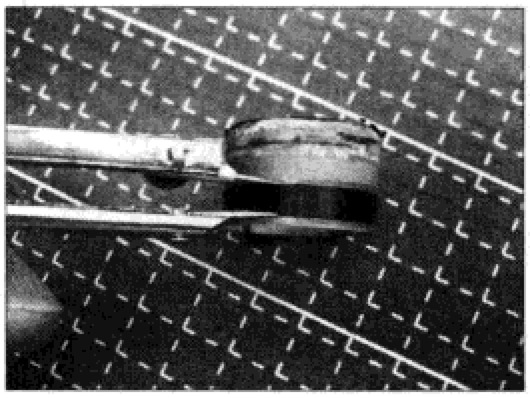
08 这样处理一下是不是美观了很多？最重要的是阻止了音盆架的进一步氧化反应。



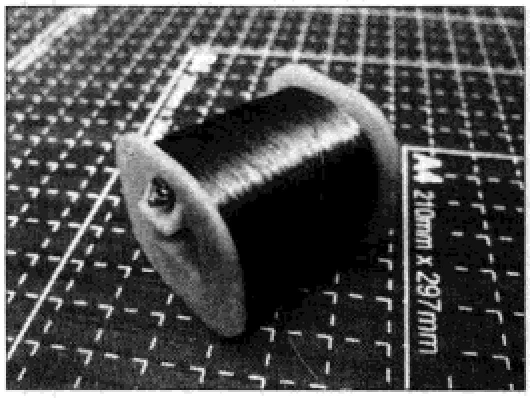
09 把两个纸盆处理了一下，在靠中心深色的一圈纸上涂一层阻尼胶，阻尼胶可以降低失真、改良听感。



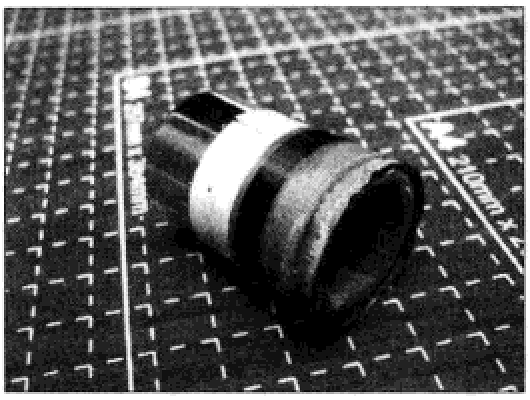
10 在测量磁路和音圈时，发现磁隙高度是4.5mm，音圈卷高是5mm，这么算下来音圈的线性行程只有上、下0.25mm，感觉有些不合理。这个线性行程和高音差不多了，若音圈只工作在线性行程里，那么扬声器几乎不会有低音。若要有一定量的低音，那么音圈就必定会工作在非线性区域而引起非线性失真。考虑再三，决定量身定做一对音圈，弃用原音圈。



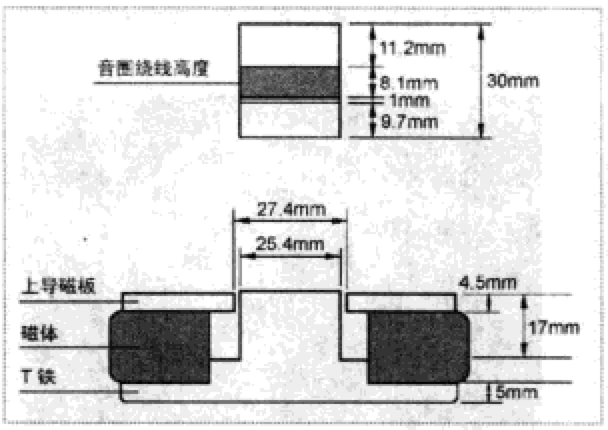
11 选择对比了几种漆包线后，选定这一小卷漆包线，每米的直流电阻为1.3Ω，比较适合做这对扬声器的音圈。



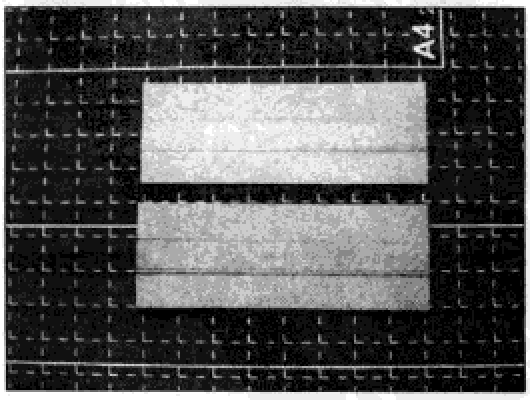
12 用1节不锈钢套管，外面再加了几层纸片，直到原音圈能顺利地套入和取出，并且结合紧密。



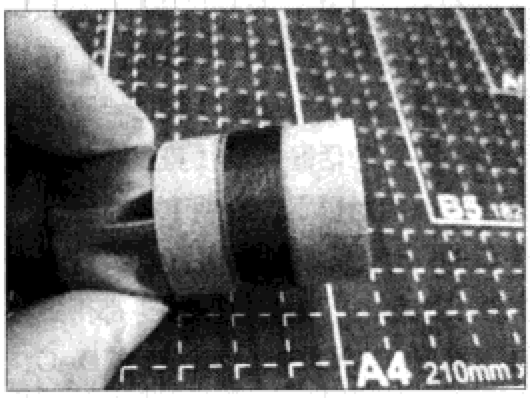
13 磁路的绘测图及音圈的计算图，有同样的扬声器想要改造或修理的朋友可以直接参考此图。



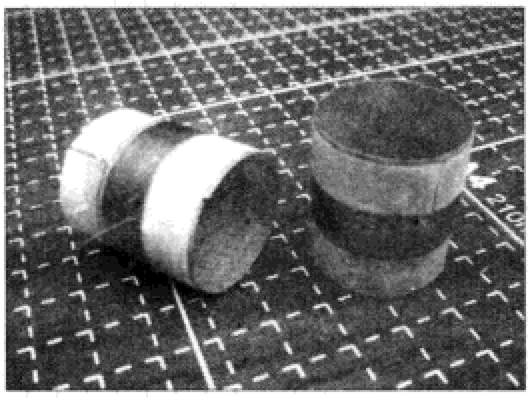
14 选用120g牛皮纸，裁成长82mm、宽30mm的长方形，画上前面计算所得的辅助线。



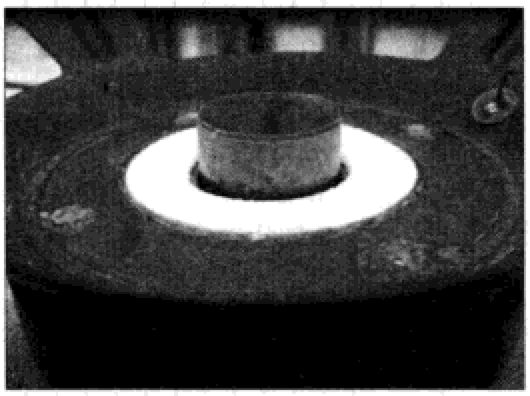
15 把牛皮纸包住不锈钢套管后固定住，涂上胶后把漆包线一圈一圈缠绕上去（具体的可以参看前几期我写过的关于修扬声器的文章，这里不再细说）。



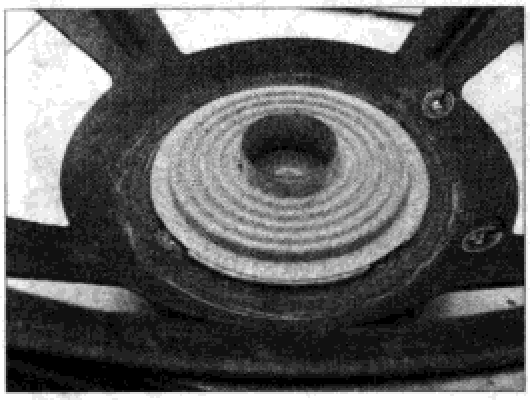
16 绕完后再涂上胶，贴上一层纸片，把音圈脱模下来。



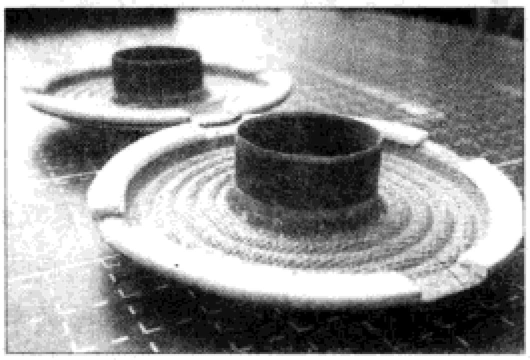
17 把音圈放入磁隙里。



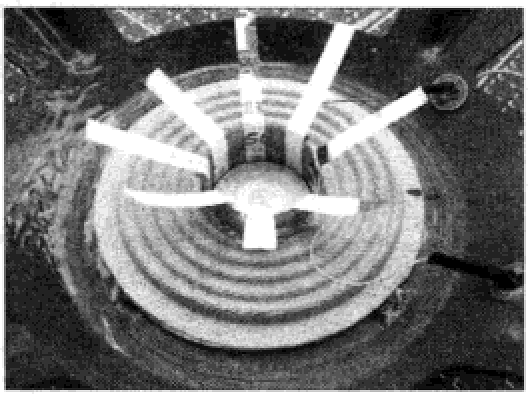
18 套入新的弹簧片，在结合部分涂上一层胶。



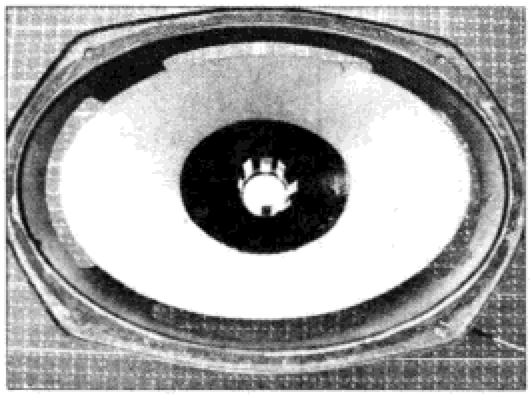
19 等胶干后，拿出音圈反转，在背面的接合处再涂上一圈胶加固。音圈线以下只留 1mm 的高度，其余的高度都剪掉。



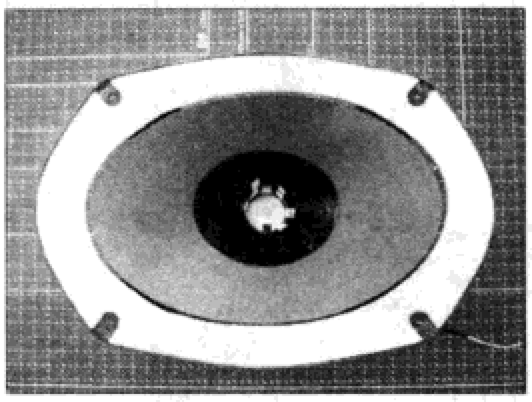
20 再把音圈弹簧片放入磁隙中，在弹簧片和盆架的接触部分涂上胶，趁胶水未干时在音圈和磁隙间插入定位纸片，焊上音圈引出线到接线柱。



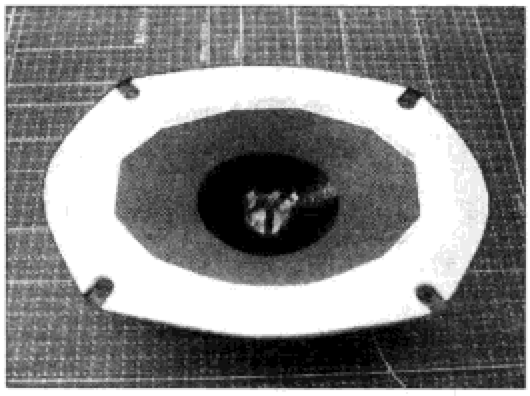
21 等胶水干透后，把纸盆套入音圈中，注意一点：当音圈和弹簧片固定在一起后，若只是一点固定是不够牢固的，接下的各项步骤还是可能会令音圈产生位移，音圈在磁隙里的空隙极小，只要有一点点、几乎感觉不到的位移就可能使修理工作以失败告终。所以定位纸片不可取出，一直要插在磁隙中，直到所有步骤完成为止。



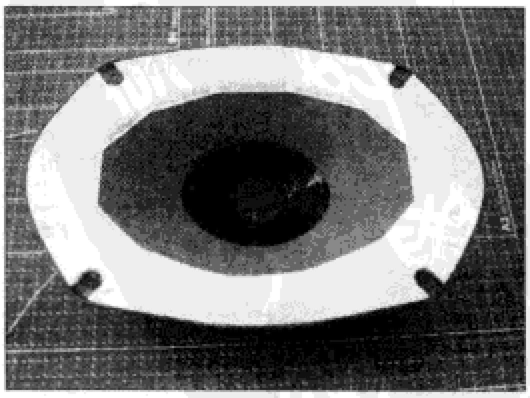
22 这次的折边做法和之前有所不同，我用了整片的泡沫海棉切成比盆架略小的形状，使它能正好嵌入到盆架中，然后挖出4个螺丝孔，中间的椭圆开孔比纸盆略大一圈。

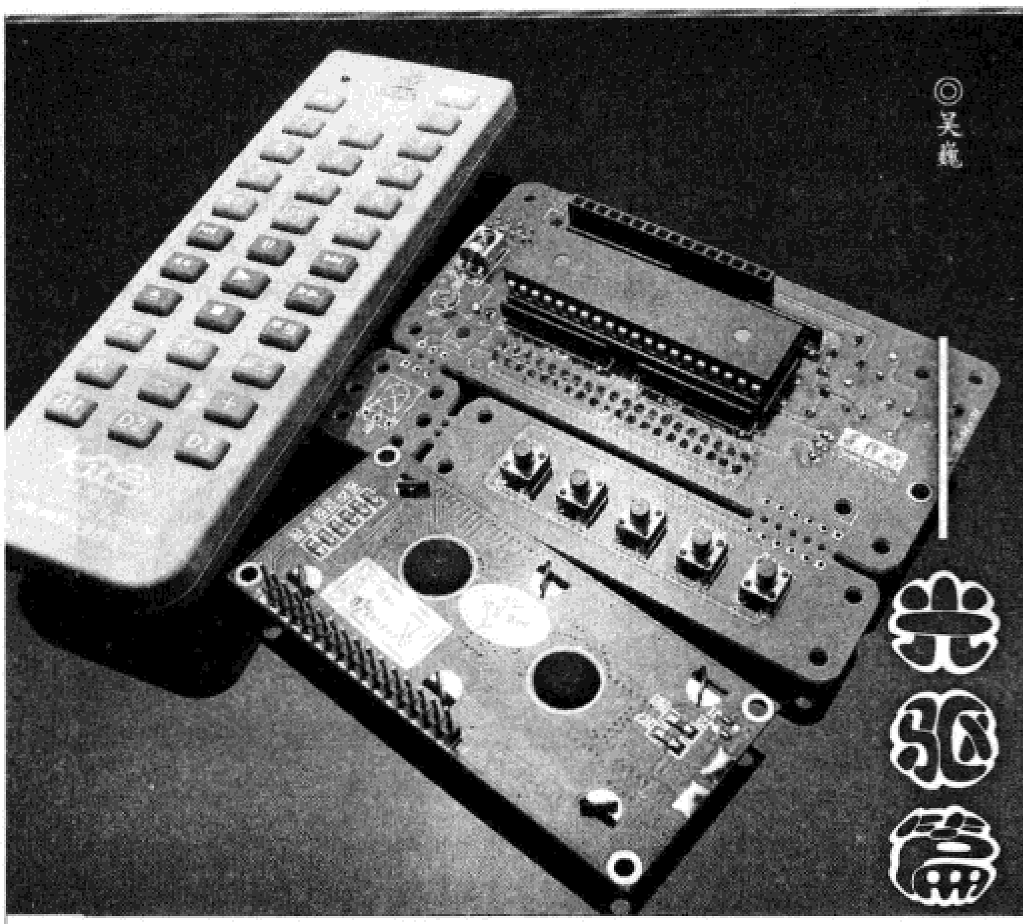


23 用半透气的棉纸把音盆和折边间的空隙粘住，然后在音圈和纸盆的接合处涂上胶固定。这次折边的做法也是试过几次后才得到的，虽然折边是平面的，但泡沫海棉具有一定的弹性，加上那一圈棉纸的缓冲作用，这个折边不但比以往做得更美观，而且具有相当好的前后伸缩性，使音圈可以顺畅地运动。



24 等胶水全部都干透后，取下定位纸片，装上防尘帽，通电开声，声音不错，一对废品价收来的扬声器重新恢复了新生。





自己动手制作CD转盘——光驱篇

◎吴巍

编者按：众所周知，光驱是用在电脑上读数据的，但它还可以用在CD机中的转盘系统，这在很多名牌机上经常可以看到，比如：英国之宝CD、艺雅等都有用光驱作为CD机的转盘。在音响DIY圈子里，光驱改转盘也一直是一个经久不衰的话题，其优势是：价格便宜、性能相对稳定，后期维护方便。一个新的CD激光头的价格可以买好几个光驱（二手），很多光驱本身都带数字音频输出（SPDIF），如果外接DAC，就有很不错的效果。因此，本刊和中国音响DIY网站联合推出了一款用光驱改装CD转盘的制作套件，为DIYer提供了方便。

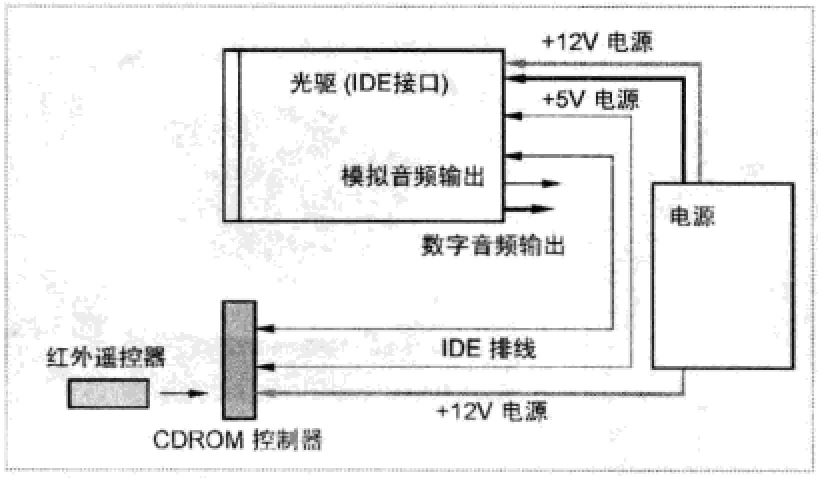
套件特点

将光驱改成CD转盘，需要3个主要的部件：光驱、电源（+12V、+5V）、光驱控制器。

光驱控制器是一款用单片机来控制光驱播放CD的控制板，网上称它为CDROM控制器，CDROM控制器是通过IDE接口来控制光驱的。它的优点是能方便地实现CD机的基本功能，如：显示时间、曲目等，用遥控器、按键控制光驱播放、暂停、选曲、进出盘等。

装机实战

在动手焊接前先检查套件的元件包，核对元件数量和参数，检查 PCB 是否有异常等，所有元器件如附表所示（本文所示的元器件符号与套件 PCB 相符，因此没有按照国标标注）。

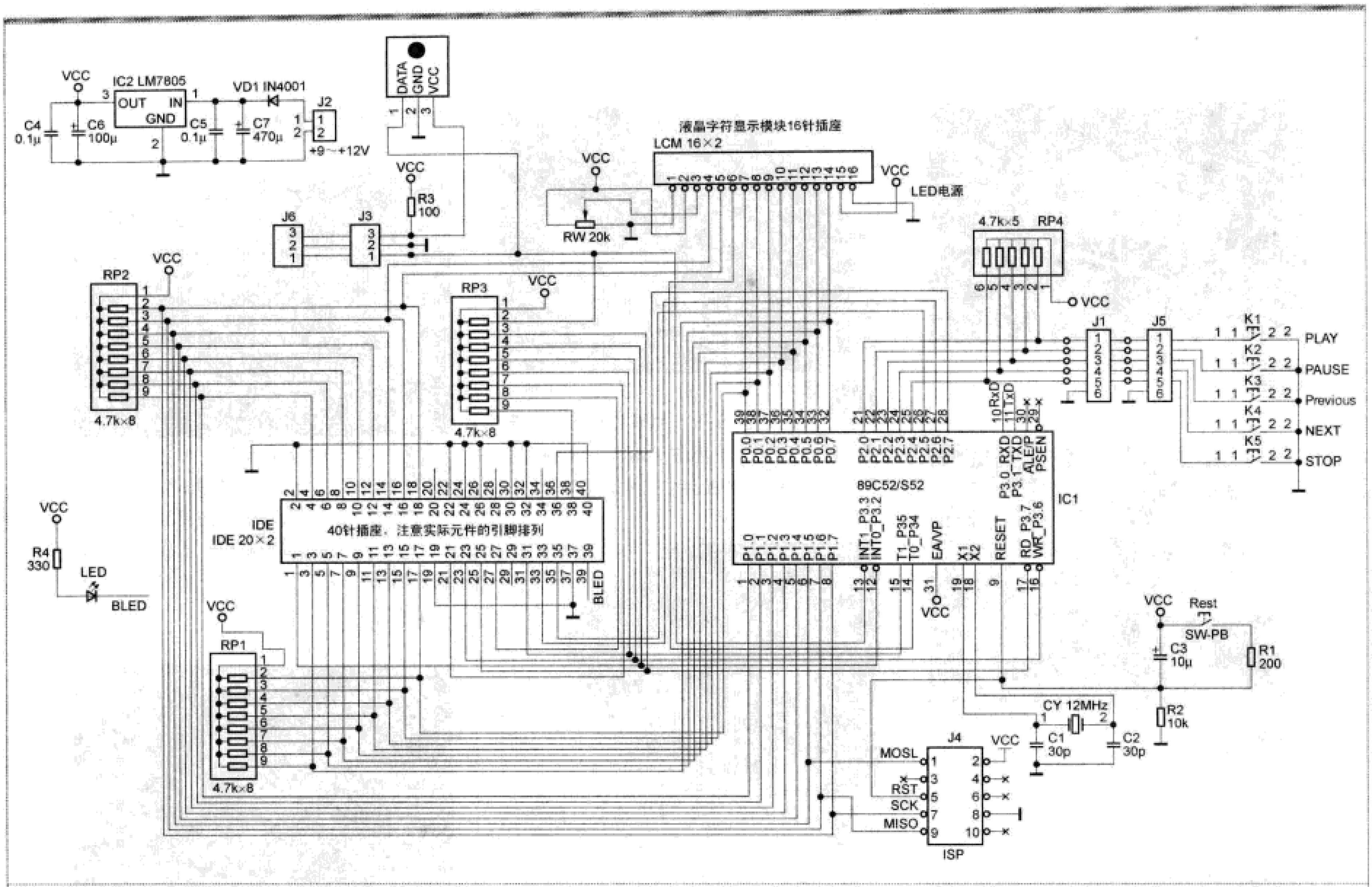


光驱改装CD盘系统图

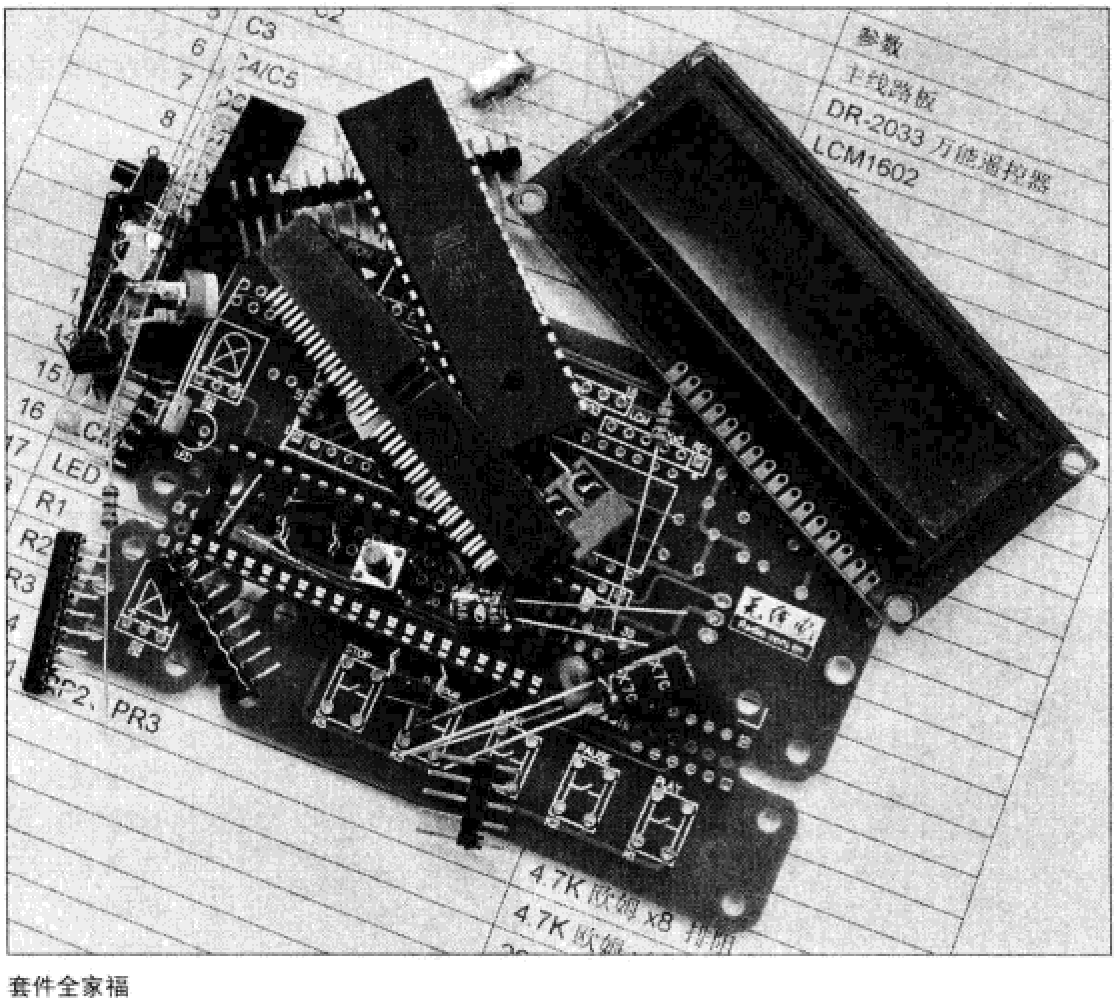
PCB是双面板，元件要从两面分开焊接，我们将元件多的一面叫底面，元件少的一面叫正面（有无线电标志的一面）。焊接顺序是先焊接底面，再焊接正面，按元件安装的高度，从低到高的顺序进行焊接。

附表

	元件位号	参数
1	PCB	主线路板
2	遥控器	DR-2033万能遥控器
3	液晶显示屏	LCM1602
4	C1、C2	30pF
5	C3	10μF
6	C4/C5	0.1μF
7	C6	100μF
8	C7	470μF
9	CY	12MHz
10	D1	1N4001/FR107
11	IDE	40针IDE座子
12	J2	2脚电源接线座
13	J4	5x2脚下载线接口
14	J7/或J8	一体化红外接收头
15	K1、K2、K3、K4、K5	6x6x7按键
16	LCM	16脚单排座
17	LED	绿色LED
18	R1	200Ω
19	R2	10kΩ
20	R3	100Ω
21	R4	330Ω
22	RP1、RP2、PR3	4.7kΩx8 排阻
23	RP4	4.7kΩx5 排阻
24	RW	20kΩ电位器
25	U1	89S52单片机
26	U2	LM7805
27	U1座子	40脚IC座

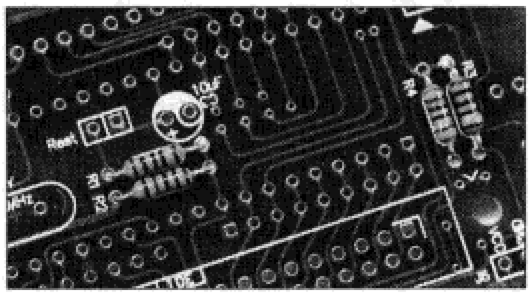


整机电路图

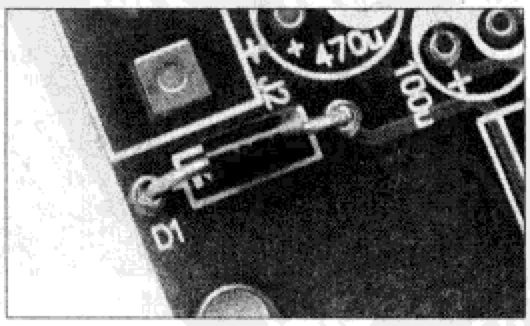


套件全家福

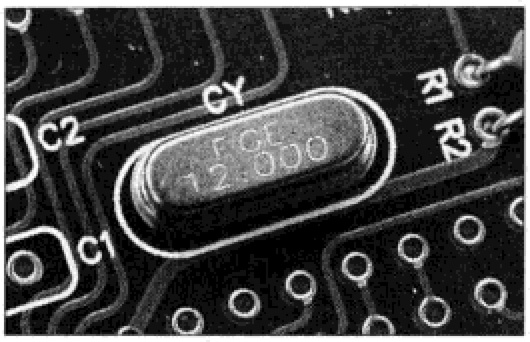
1. 焊接PCB底面的元器件



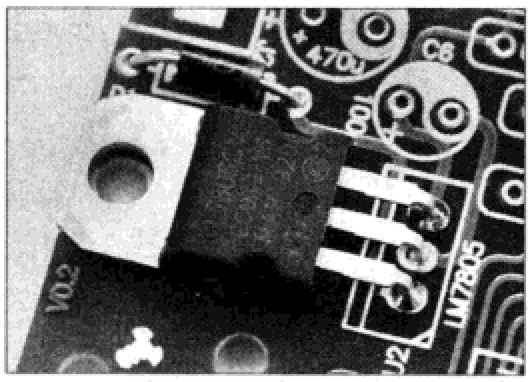
01 先焊接4个电阻，即R1（200Ω，色环标志：红黑黑黑棕）、R2（10kΩ，色环标志：棕黑黑红棕）、R3（100Ω，色环标志：棕黑黑黑棕）、R4（330Ω，色环标志：橙橙黑黑棕）。



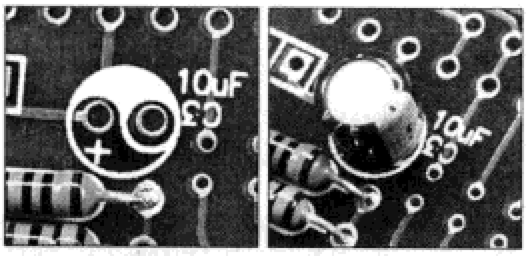
02 焊接二极管D1。



03 焊接12MHz晶体振荡器CY。

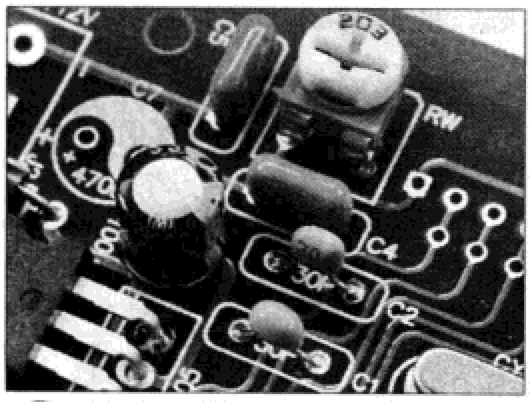


04 焊接稳压管LM7805（元件号U2），焊接前先把LM7805脚折弯90°，散热片孔对准PCB上的对应安装孔即可。

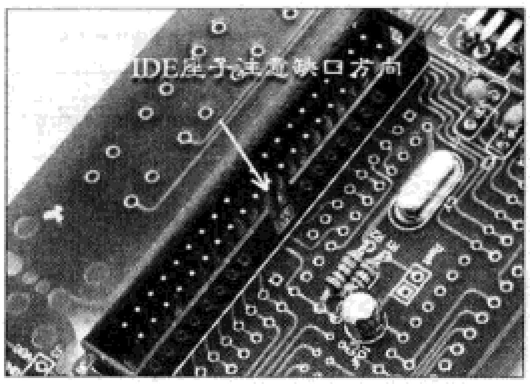


05 焊接电解电容C3（10μF），注意极性，电容器外壳上的白色条对应的是电容器的负极，千万不可接反，接反了会导致电容爆炸，以下所有电解电容的焊接要求都相同。

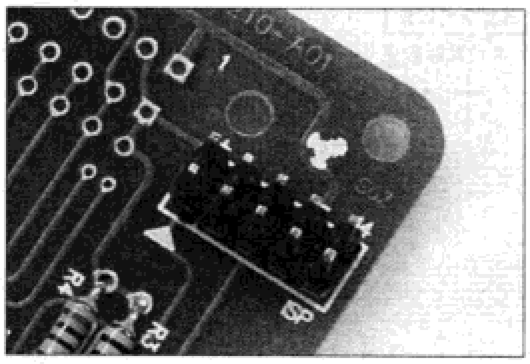
06 焊接电容器C1（30pF）、C2（30pF）、C4（0.1μF）、C5（0.1μF）、C6（100μF）。



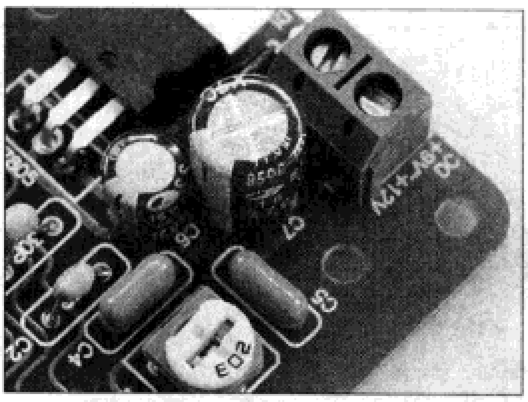
07 焊接可调电阻RW（20kΩ）。



08 焊接40脚 IDE插座，注意，IDE插座缺口对准板子上的缺口位置，不要焊反了，因为这个插座很难拆，20脚是空的，这是为了兼容80线的IDE排线。

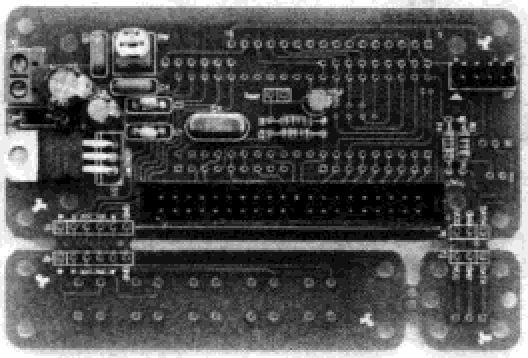


09 焊接 10 针下载线的接口（元件号J4），如果不升级单片机程序，这个可以不焊，下载线接口仅对 89S52 单片机有效。

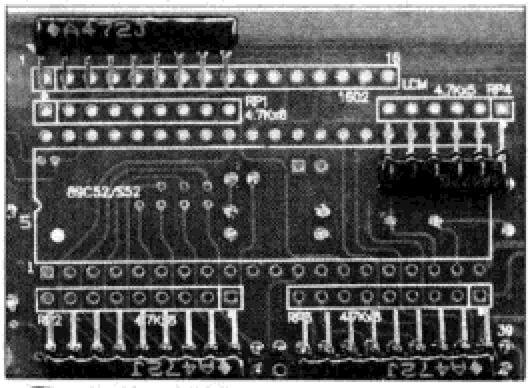


10 焊接电源输入接线座（元件号J2）。焊接电解电容C7（470μF）。

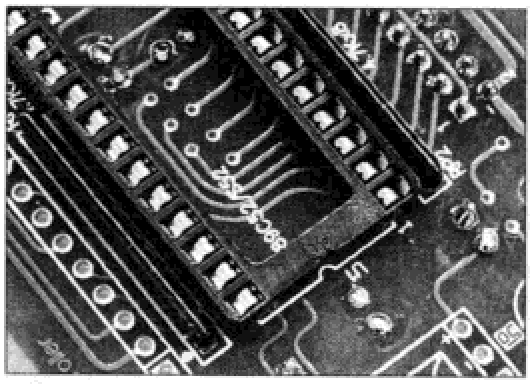
到此，底面的所有元件都焊接完毕。



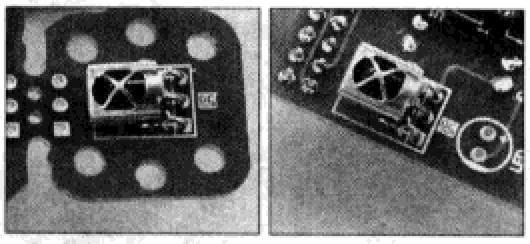
2. 焊接PCB正面的元器件



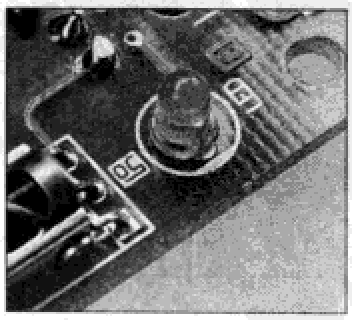
01 焊接9针排阻RP1、RP2、RP3（4.7kΩ×8），焊接6针排阻RP4（4.7 kΩ×5）；排阻安装时要注意，将排阻上标有圆点的1脚对准板子上相应的标有圆点的1脚，不可接反，接反将导致电路板不工作。



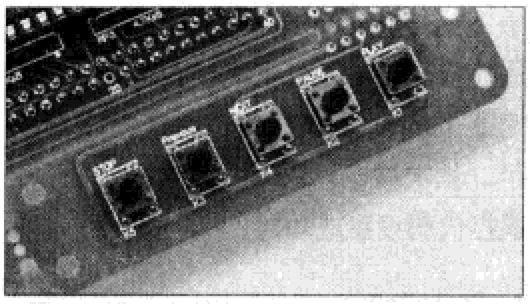
02 焊接40针单片机插座（元件号U1），焊接时插座的缺口对准板子上所标注的U1缺口（下图是两种位置安装法，读者可自选其一）。



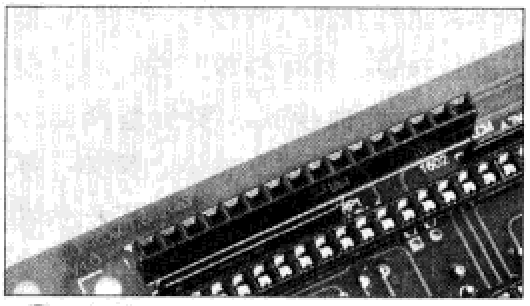
03 焊接一体化红外接收头，焊接前，先把红外接收头的脚折弯90°，板子上有2个红外接收头的位置，只要焊接其中一个即可。如果焊接在U1边上，请注意接收头的金属部分不要碰到ISP接口的焊脚。



04 焊接发光二极管LED，要注意发光二极管极性，长脚是正极。

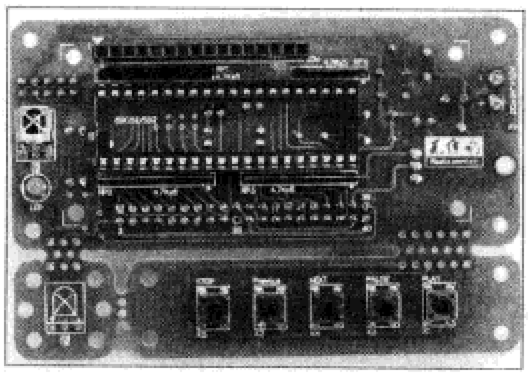


05 焊接5个按键K1、K2、K3、K4、K5。



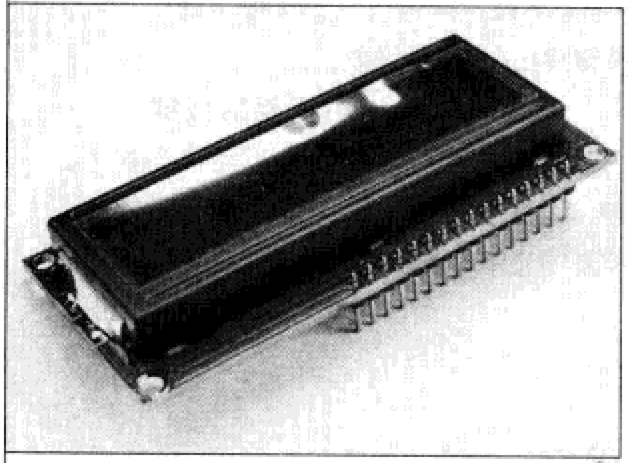
06 焊接显示屏接线座LCM。

到这里正面元件全部焊接完毕。



3. 焊接液晶显示屏排针

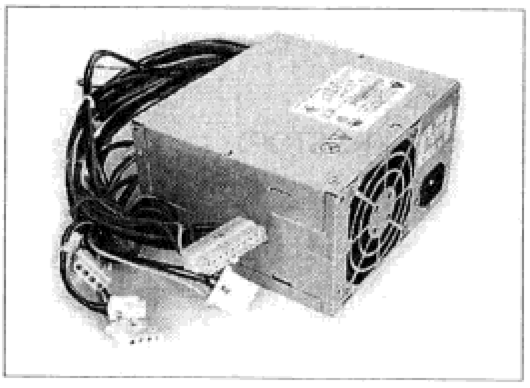
注意排针不要装反了。



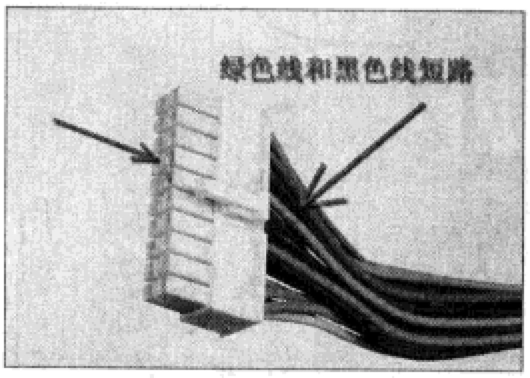
调试过程

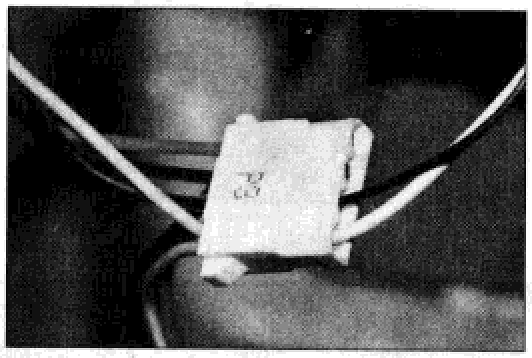
1. 先检查板子上的所有焊点是否存在空焊、虚焊、搭焊、错焊等情况。

2. 光驱需要的电源是+12V、+5V，为了调试方便，我们取一个计算机用的ATX开关电源（以下简称开关电源）。将开关电源置于启动模式，开关电源接口绿色线要和黑色线短路，这样电源就处于启动状态了。也可以使用自己制作的线性电源，12V、5V电源的输出电流以光驱本身标称电流为准。

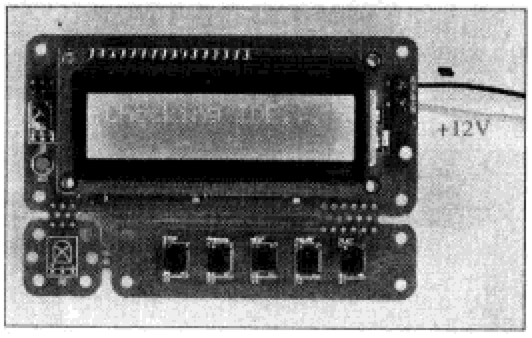


3. 将焊接好的板子引出两根线，一根线接到开关电源的+12V（一般黄色的线是+12V）；另一根线接到开关电源的地线（黑色线接开关电源的地线）。





4. 将开关电源接通220V电源，测量板子上U1的20脚和40脚的电压，+5V左右为正常，否则立即切断电源，检查电源的接线是否正确、板子是否异常。



5. 插上单片机89S52，注意缺口对准IC插座的缺口，不要装反了。

6. 将液晶显示屏插到控制板上。

7. 启动开关电源，调节板子底面的可调电阻RW，直到屏幕出现字符“Checking IDE….”。

连接光驱

1. 将光驱模式跳线调到master位置，这个步骤很重要，否则控制器会启动到屏幕显示“Checking IDE….”时而停止。

如果出现“Checking IDE….”的指示，请检查光驱的模式跳线和IDE排线。

2. 接上光驱的电源线。

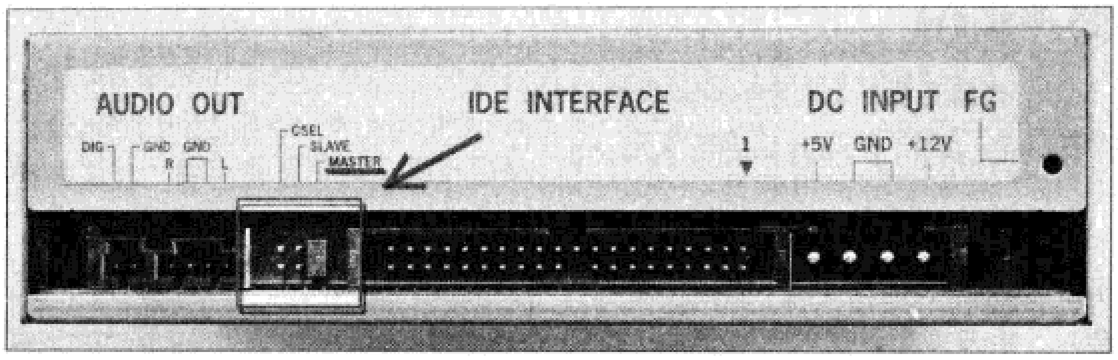
3. 用IDE排线 连接控制板和光驱的IDE接口，要注意“防呆”缺口，不可硬插。

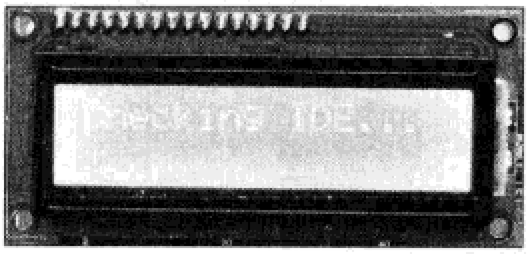
4. 接通开关电源，这时控制器会引导光驱进入CD播放模式。如果光驱里面没有CD碟片，长按按键板上的“STOP”按钮，光驱会推出托盘，放入CD，长按“STOP”按钮，光驱读到CD盘后，就可以正常使用了。所有控制操作请用CDROM控制器键盘或者遥控器来完成。

按键板功能说明

播放按键（K1 PLAY）

1. 有碟状态下，开始播放。





2. 播放中，短按，暂停。

3. 播放中，长按，切换时间显示模式。

暂停按键 (K2 PAUSE)

1. 有碟状态下，开始播放。

2. 播放中，短按，暂停。

下一曲(K4 NEXT)

1. 短按，下一曲。

2. 长按，进入快进模式。

3. 在快进模式中，短按，切换快进速度。

下一曲（K3 Previous）

1. 短按，上一曲。

2. 长按，进入快退模式。

3. 在快退模式中，短按，切换快退速度。

停止（K5 STOP）

1. 短按，停止。

2. 长按，进出盘。

3. 在快进、快退模式中，短按，退出快进、快退状态。

遥控器功能使用说明

1. 遥控器设置

遥控器是万能遥控器，需要设置一下遥控代码才能遥控光驱控制器。遥控代码是470，设置方法是：按住遥控器上的设置按键5s左右，指示灯亮了，依次按4 、7、 0数字键，灯灭，遥控代码设置成功。

2. 选曲模式

按下数字键即进入选曲模式，比如你要选择12曲，先按1，再按2，按下播放按键，即可播放12曲。按“显示”退出选曲模式。要想选择上一曲、下一曲、快进、快退、暂停、播放、停止、出盘等，按对应图标的按键即可。

3. 音量控制

按键+/ -可以控制光驱的音量大小，注意:这个功能并不是所有光驱都支持。

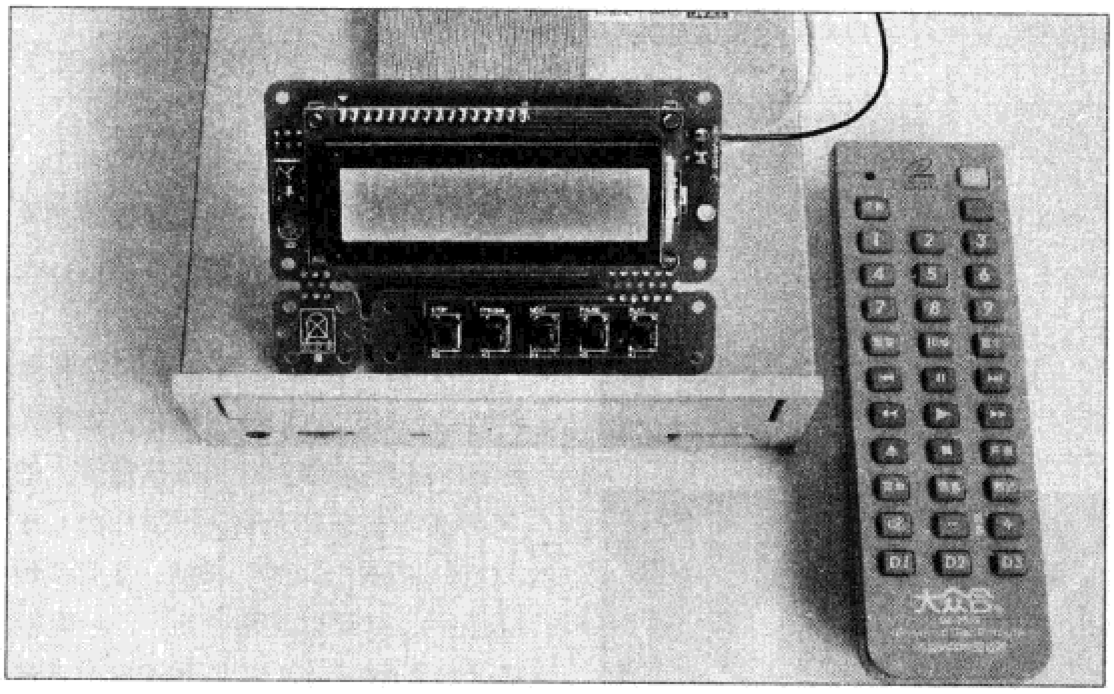
4. 时间显示模式

按显示键，此键也可以做“esc”用（如退出选曲设置）。

5. 循环模式

在播放中按下重复键，即切换循环模式，可以实现单曲循环、A-B循环（曲-曲循环）、整碟循环。切换到A-B循环模式时，输入A曲目后，按播放键，输入B曲目后，按播放键，完成A-B循环设定，也可以直接按“重复”按键跳出A-B循环设置。

其他本文未说明功能的按键，不起控制作用。注：因为光驱种类繁多，难免会存在兼容问题，如有不能控制的光驱，请更换光驱试验。



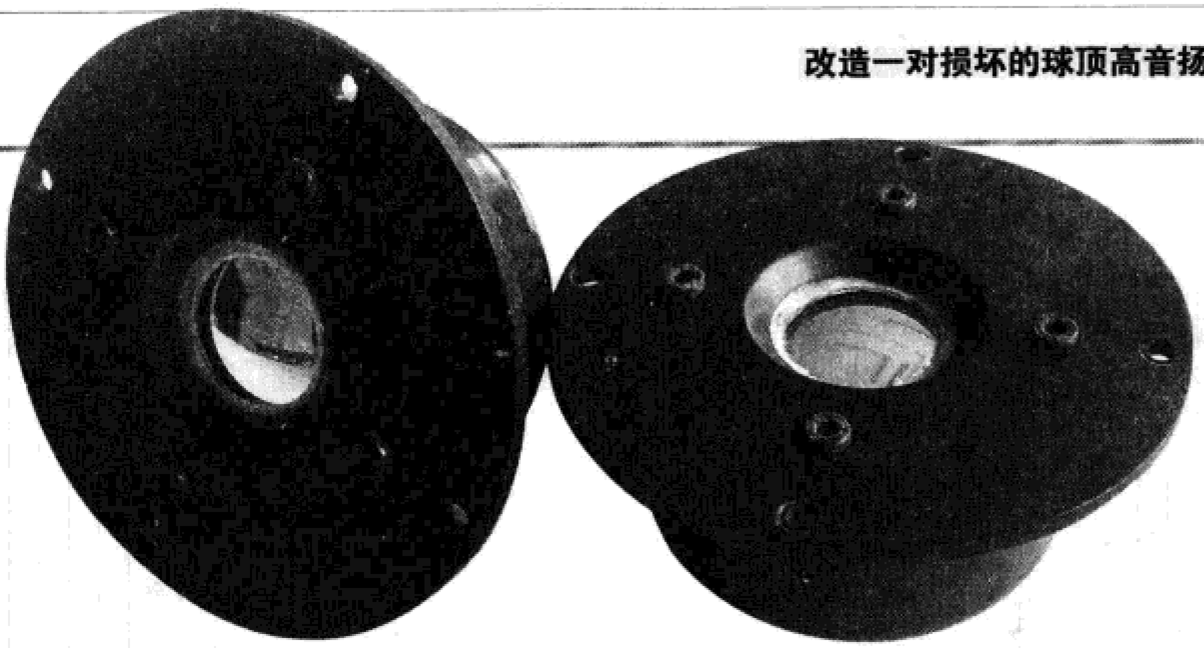
套件销售

套件价格：99元/套+15元邮费。(购买套件请一定注明联系电话，以便到款后及时发货)。

购买方式：1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座，《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明CD转盘套件

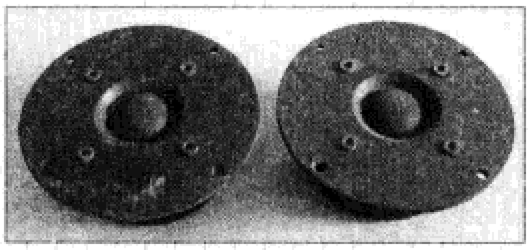
2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/

◎倪文贤

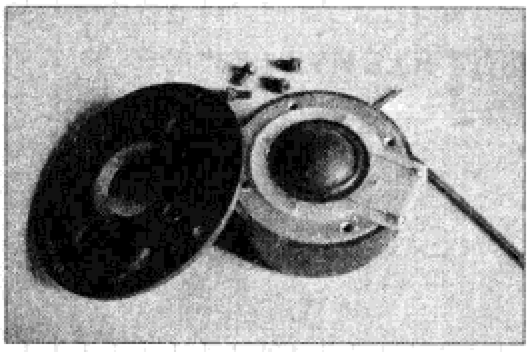


改造一对损坏的球顶高音扬声器

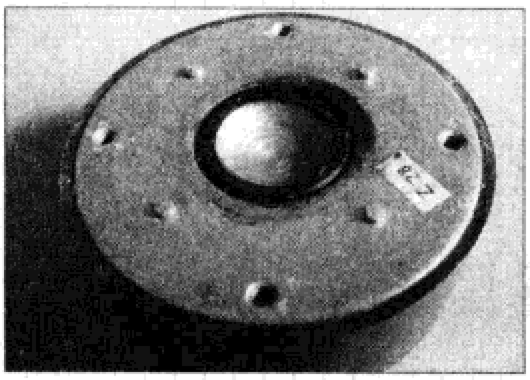
01 一次外出路过一家废品收购站，看到这对球顶高音扬声器丢放在门口，随手拿起来看了看，防磁设计，做工不错，就和老板谈了一下，最后以10元一对的价格拿回了家，哈哈，打算拆开来玩玩。



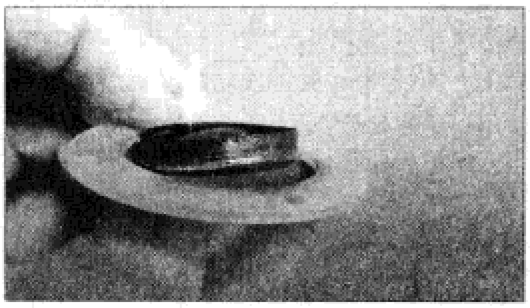
02 回到家就拆开来看。



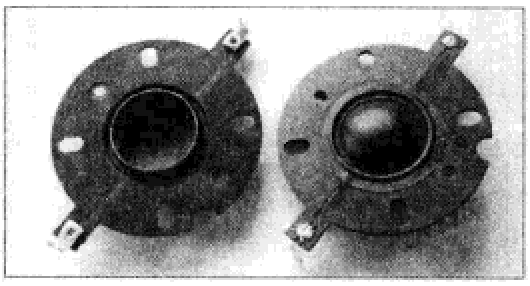
03 可能是出厂时间太长，里面的磁液都干掉了。



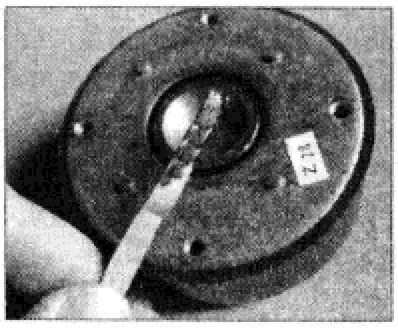
04 2个音膜都严重破损，用万用表测不出音圈的电阻，看样子应该是功率过大把音圈烧掉了。



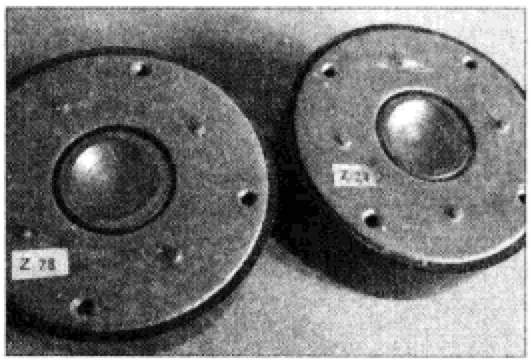
05 手上正好有一对球顶高音用的音圈音膜组合，只要稍加改动，换上去就能用了。可是我是个喜欢折腾的人，DIY就是在不断折腾中寻找乐趣，这样换上一对现成的太容易了。不管好与坏，我都要挑战一下自己，决定重新制作一对音圈、音膜组合，改造这对单元。



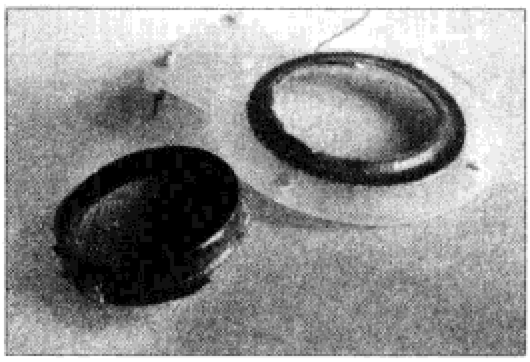
06 第一步是清理磁路，磁隙只有1mm宽，我找了一块硬纸板，剪成很多小条，然后插到磁隙里耐心地清理。



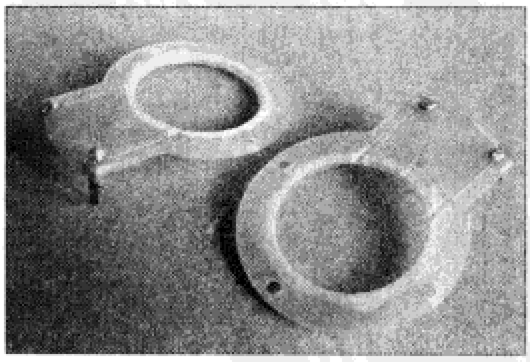
07 花了1个多小时的时间才把干枯的磁液清理干净，用透明胶带封上磁路待用。



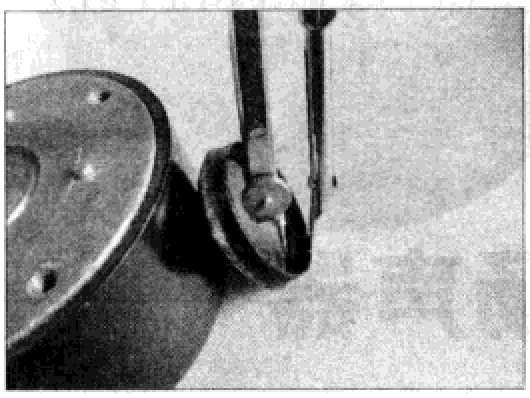
08 把2个损坏的音圈拆下，让它们发挥最后的作用。



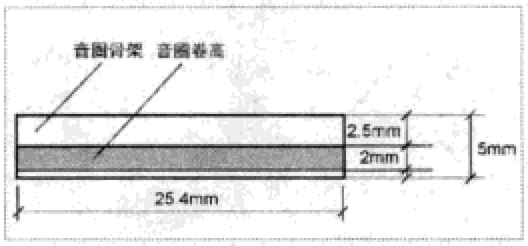
09 把这2个固定音膜的架子清理干净。



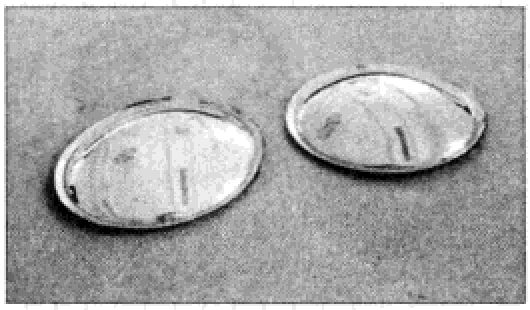
10 音圈的作用就是用来被测量，为了更精确，我用圆规的2个尖头去量，然后再用尺量2个尖头间的距离。



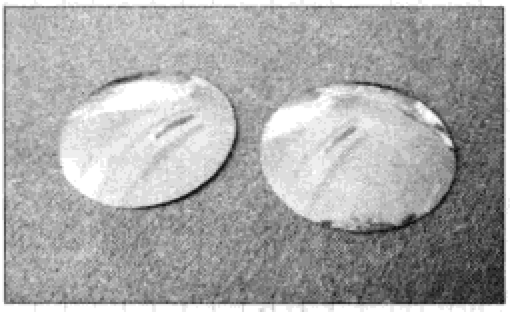
11 这是测得的音圈尺寸：直径为25.4mm，绕线卷高为2mm，总高为5mm。



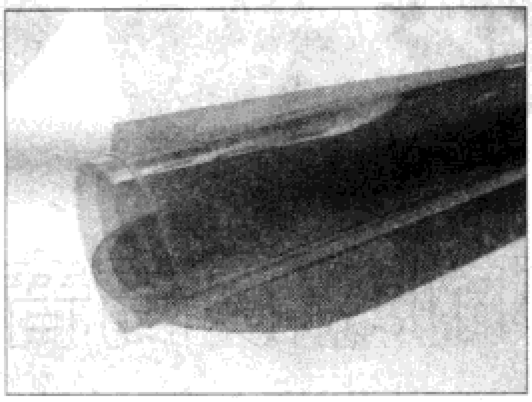
12 然后翻箱倒柜大半天，找到了这2个东西来代替做高音的音膜，这是从一对吸顶扬声器上拆下来的防尘帽，表面镀了一层铝膜，很亮。



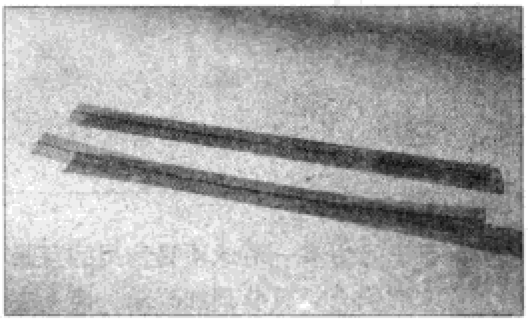
13 用剪刀把它们修剪成合适的大小。



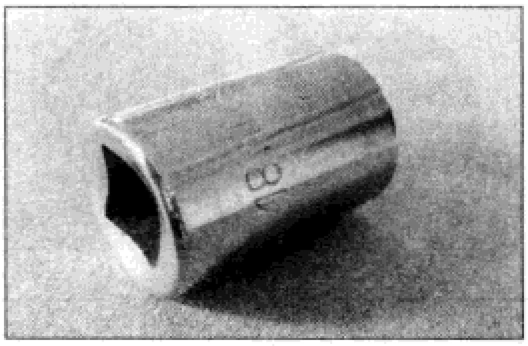
14 KAPTON薄膜，又名聚酰亚胺薄膜，用这个来做音圈的骨架很不错，强度很好而且可以耐高温。



15 按前面测得的音圈尺寸切下两条KAPTON 薄膜，并用黑线标好绕线的高度，实际做时我把音圈总高加了0.5mm，把图上的 2.5mm 变为 3mm，这是我根据所使用材料的实际情况最后算得的尺寸。

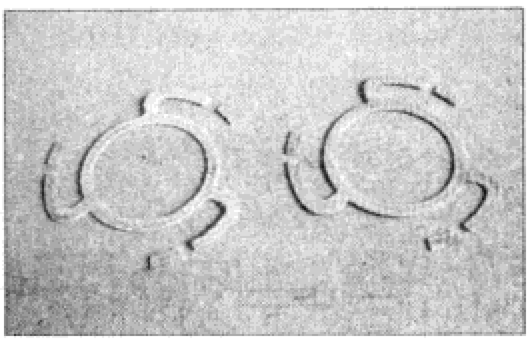


16 这个规格为18mm的不锈钢套筒正好可以用作25.4音圈的胎具，以前已使用过多次了。

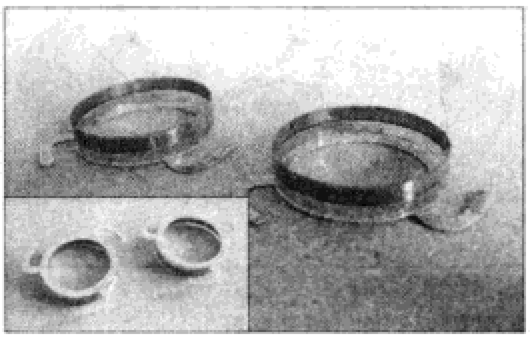


17 套上 KAPTON 薄膜，绕音圈线，音圈的具体做法在《无线电》2009 年 4 ~ 12 期的文章里都有介绍，这里就不再多讲了。我所用的音圈线每一米的直流电阻约为 1.7Ω，绕完后音圈的直流电阻大约是 3.4Ω。

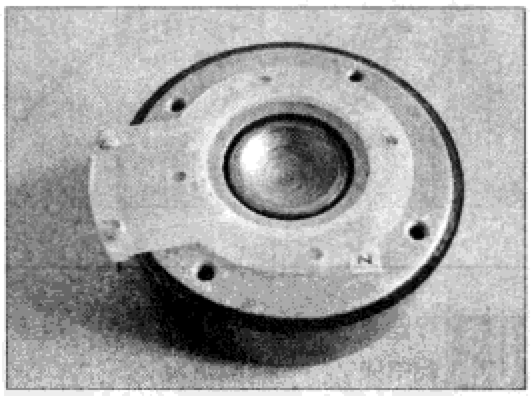
18 这是很薄的电木胶片，弹性非常好，我用矢量绘图软件画了尺寸图，然后用数控切割机加工出来。



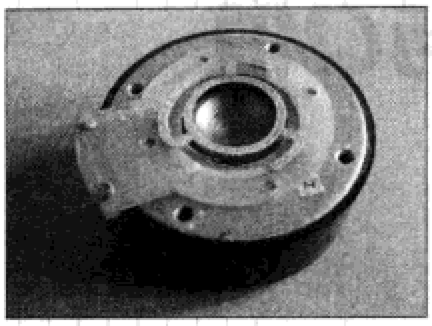
19 如图：把3个小片的电木胶片分别粘在大的上面，这样的厚度大约是0.5mm，这也是前面我把音圈总高提高了0.5mm的原因，因为我所用的折边材料比原本的材料厚了0.5mm。再把音圈与电木胶片粘合在一起。



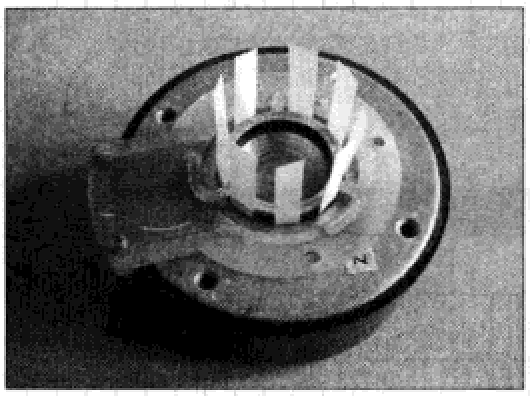
20 装上音膜架子。



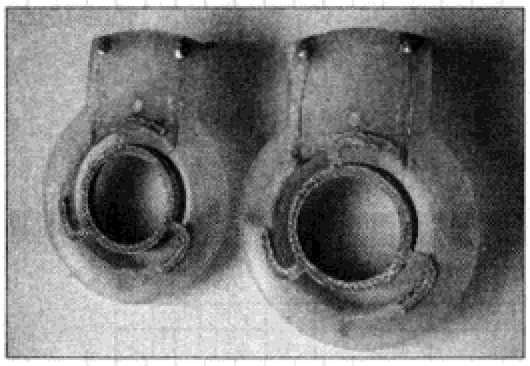
21 套入音圈。



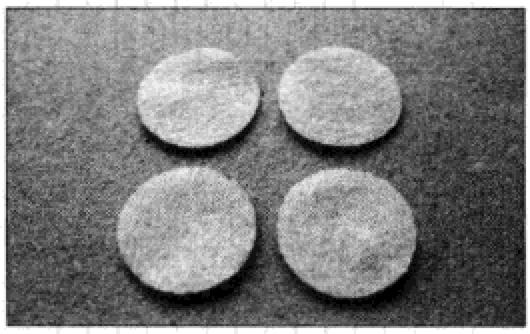
22 用纸片把音圈定位在磁隙宽度的中心，然后用胶把音圈架子和电木胶片粘合在一起。



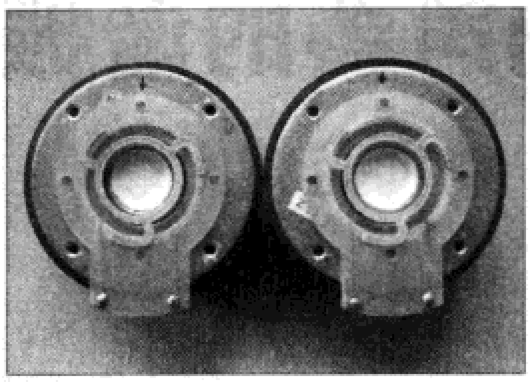
23 把音圈的引出线焊在接头上。



24 用棉剪出大小合适的4个圆形。

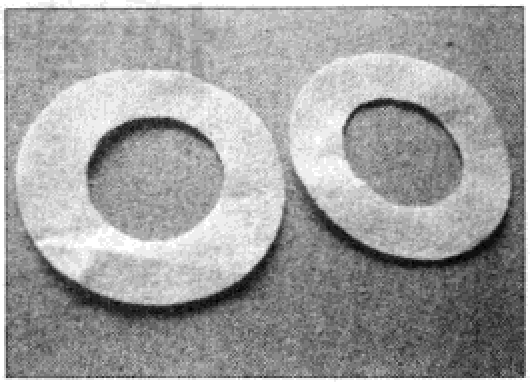


25 把棉粘在磁路的导磁柱中心，每个导磁柱粘两片。



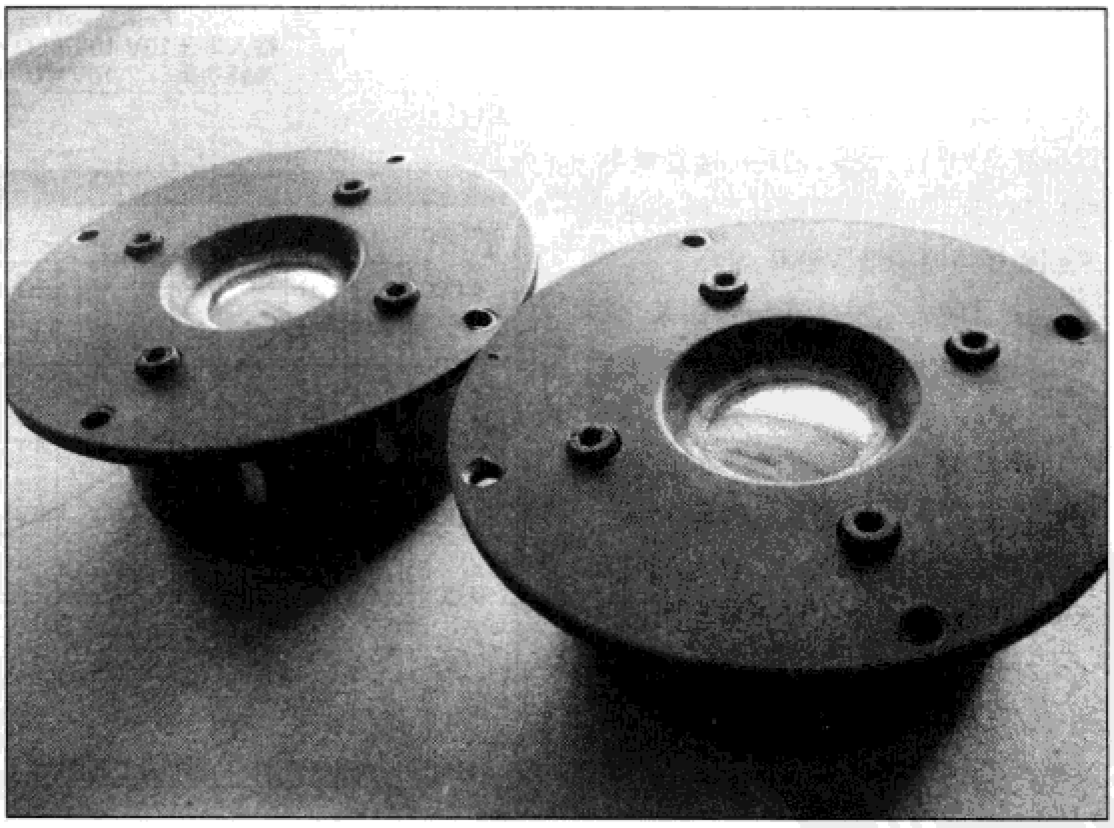
26 粘上前面修剪好的音膜。

27 用棉剪两个环形，中心圆的直径比音膜直径略小一点点。



28 如图把棉粘在音膜周边。

29 装上面板，一对球顶高音扬声器改造完成，有时间可以用不同的音膜材料再试试，会得到不同的效果，通过这一次动手，不但得到了DIY的乐趣，也使我对高音单元有了更深一层的认识。



音箱基础知识

低音扬声器的谐振与*Q*值

◎曾念民

小时候我们荡过“秋千”，如果我们的运动频率与“秋千”的摆动频率不同，则对“秋千”摆动作用很小，如果我们的运动频率与“秋千”摆动频率相同，只要很小的力气就可以把“秋千”荡得很高，这种现象在物理学中称为“共振”。

扬声器谐振和物理学中“共振”的意思相同：当策动力的频率和系统的固有频率相等时，系统受迫振动的振幅最大。共振和谐振表达的是同样一种现象，只是这种具有相同实质的现象在不同的领域里有不同的叫法而已，所以有些书籍称为“扬声器谐振频率”，也有些书籍称为“扬声器共振频率”。在扬声器谐振频率（F_0）下，只要消耗很少的能量就能使纸盆和音圈移动很大的冲程（后面将介绍在设计大功率专业用音箱时这是一个很有用的特性）。

谐振可以提升扬声器低频段的效率。从扬声器阻抗曲线图中可以看到在谐振频率处阻抗最高，消耗的能量最小，所以我们可以通过测试扬声器的阻抗来判断扬声器的谐振频率。

由于谐振只发生在扬声器某个很狭小的振动频段，并且只能提升该频段的效率，而扬声器频率越低，需要的功率越大，因此我们通常将F_0设计在扬声器消耗功率最多的最低频段。一个F_0为100Hz的扬声器，虽然我们可以通过均衡强制让该扬声器重放低于100Hz的频率，但是由于该扬声器只是在100Hz附近效率最高，低于100Hz时效率很低，使得扬声器发热严重，很容易烧毁，所以F_0通常也就决定了该扬声器的低频下限。

市面上如此多的扬声器，有的纸盆质量大点，有的纸盆折环硬点，最终造成每个扬声器的谐振频率都不同，如何给谐振定义呢？我们在荡“秋千”的时候，能看到当我们停止运动后“秋千”还要来回摆动多次才会停止，我们就根据停止运动后“秋千”还能摆动多少次来给谐振定参

谐振能帮助音圈和纸盆的运动，提升扬声器低频效率

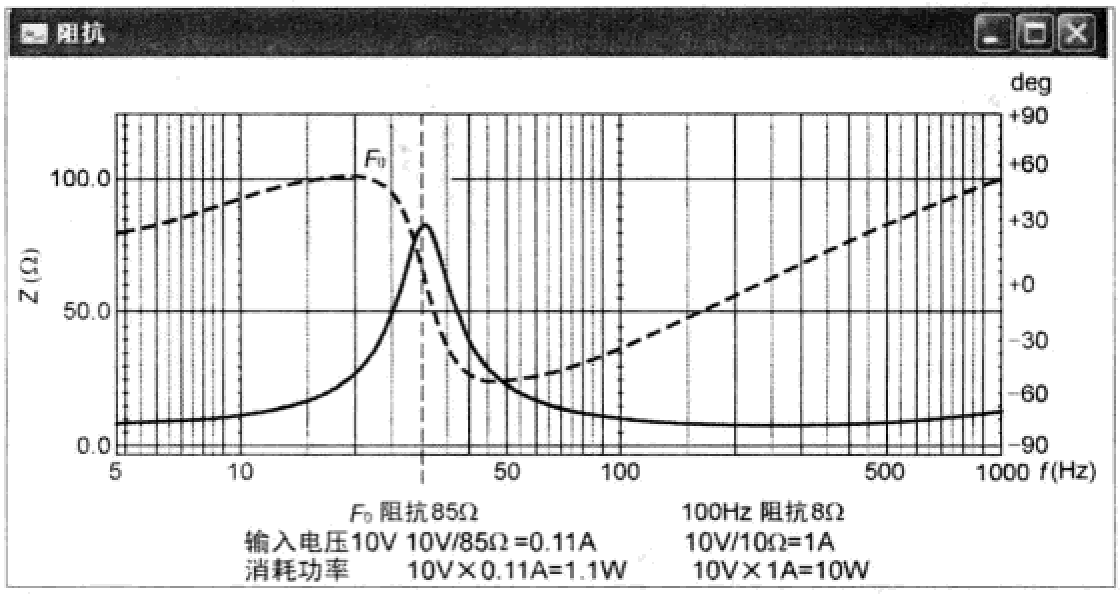


图1

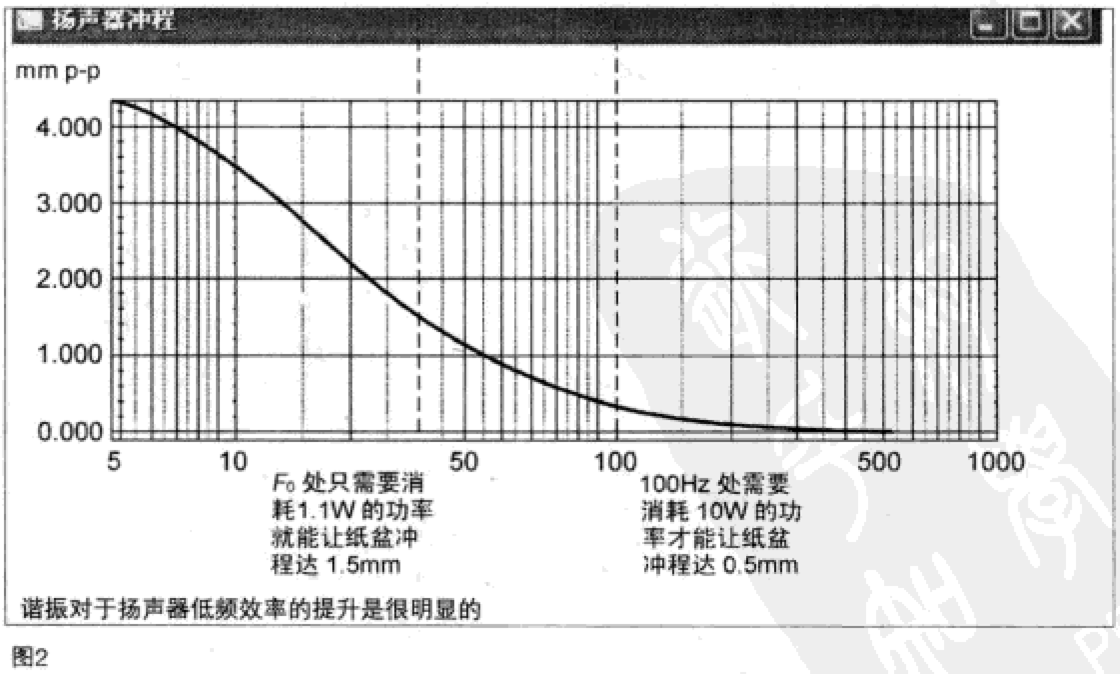


图2

数。同理在扬声器系统中，扬声器谐振停止后，扬声器纸盆还要来回摆动多少次才停止，即靠振幅衰减得快慢来给扬声器谐振定个参数——Qts（阻尼系数，有的书籍叫品质因数）。

谐振可以提升扬声器低频的效率，但是又带来些害处，谐振频率处的扬声器纸盆是要来回摆动多次才能停止，使扬声器瞬态特性劣化，Qts大，瞬态差，Qts小，瞬态好。

Qts＝0.5时，扬声器纸盆来回摆动一下就基本停止了。

Qts＝1.0时，扬声器纸盆要来回摆动两下才停止。

Qts＝1.5时，纸盆几乎要摆动3下才停止。

假如是高音扬声器就好办，谐振频率在比较低的频段，不需要用到谐振频率处也能满足高音扬声器的低频重放。高音扬声器 F_0 在 1.8kHz，而高音扬声器分频点一般在 2kHz 以上。假如分频点在 3kHz，我们可以将高通滤波器把高音扬声器谐振频率处“切”掉，不使用扬声器谐振频率段，也就不用考虑什么 F_0 和 Qts 等复杂的参数了。

但是低音扬声器要尽量使用其频率下限，不能把谐振频率处“切”掉，所以我们必须面对扬声器谐振频率、Qts等参数。扬声器系统Qts是如何测量出来的呢？通过测量阻抗曲线我们可以得到几个参数：

第一是谐振频率：F_0＝30Hz；

第二是谐振的选择性：$\Delta F=F2-F1$＝36Hz-26Hz＝10Hz；

第三是谐振比：$Zb=Z0/Zm$＝4Ω/38Ω＝0.1。

由这3个参数可以计算出阻尼系数Qts：

$Qts=Zb\times F0/\Delta F=0.1\times 30/10=0.3$

Qts常指扬声器谐振停止时振幅衰减的快慢，但是谐振不单单只是在扬声器振动才会产生这一现象，在其他领域（电学、力学等）也会有相同的谐振现象产生。在其他领域中谐振也常用Q值表示，虽然在不同的领域谐振

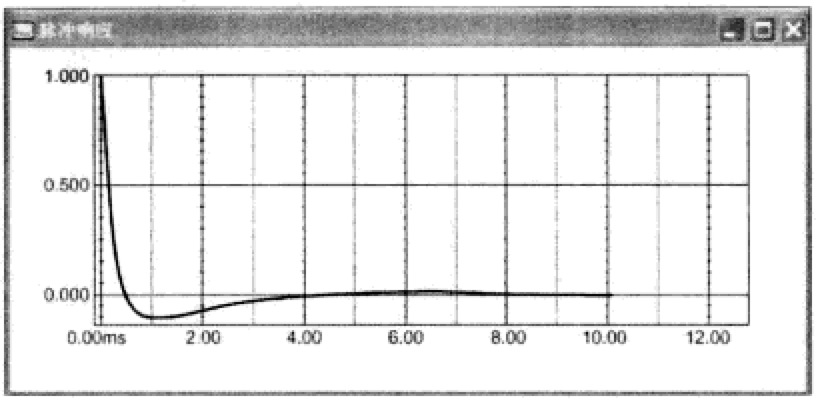


图3

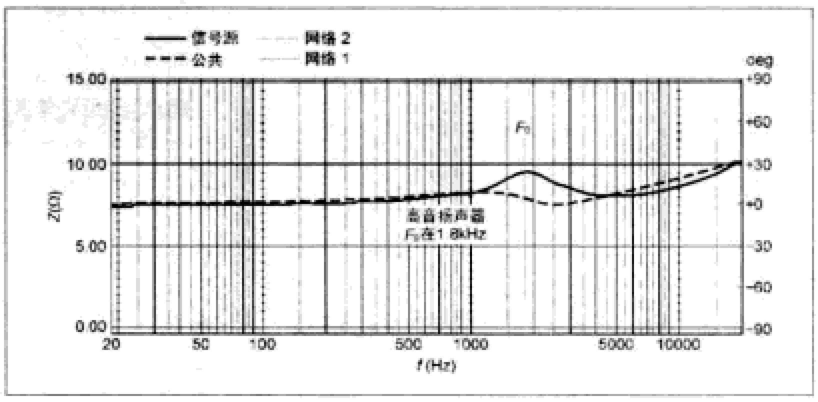


图6

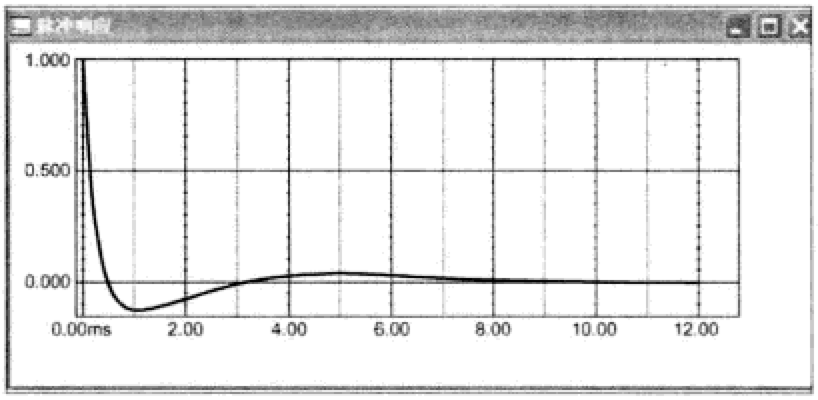


图4

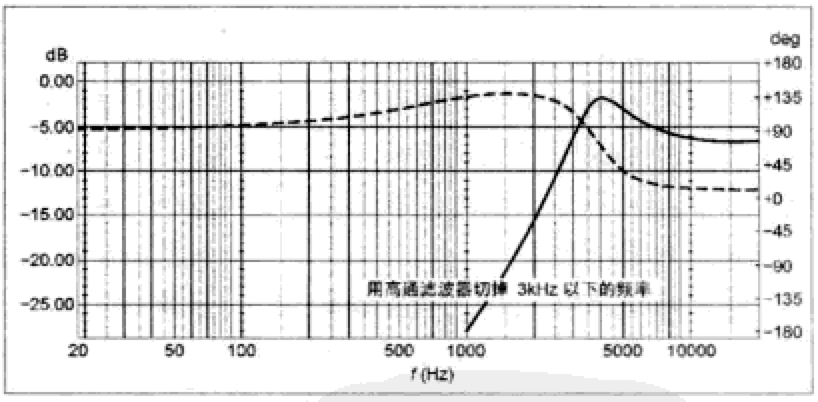


图7

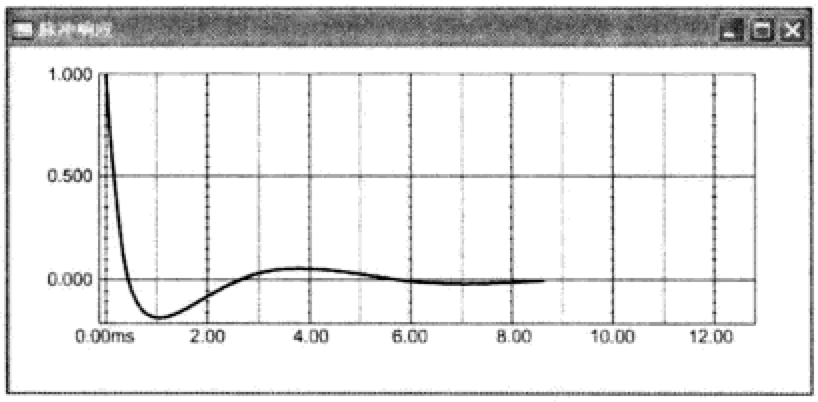


图5

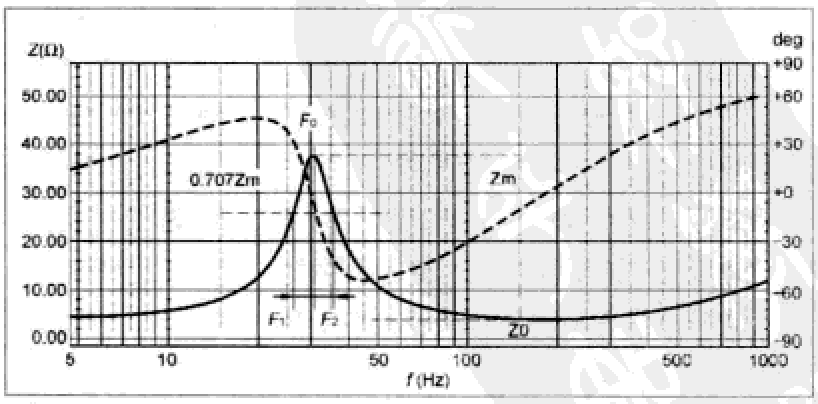


图8

摩的音箱的制作与调整

◎吴红奎

能拥有R907音箱的人太少了，即便是骨灰级的发烧友恐怕也是如此，本文介绍的这款爱好者DIY的Modulus音箱无论是设计、材料、制作还是调音，虽不能和R907音箱相比，但还是有R907风韵的。就以Modulus的谐音来给它起个中文名字吧：摩的。这款“摩的”音箱的花费和R907音箱的花费相比，就像是“摩的”车和桑塔纳的差别，不过，声音表现上的差别，我却不认为也有那么大。

先介绍一下R907音箱吧，R907是Jamo（中文行业名称：尊宝）公司的一款Reference（参考级）的3路4单元落地式音箱，2008年上市的全开放式

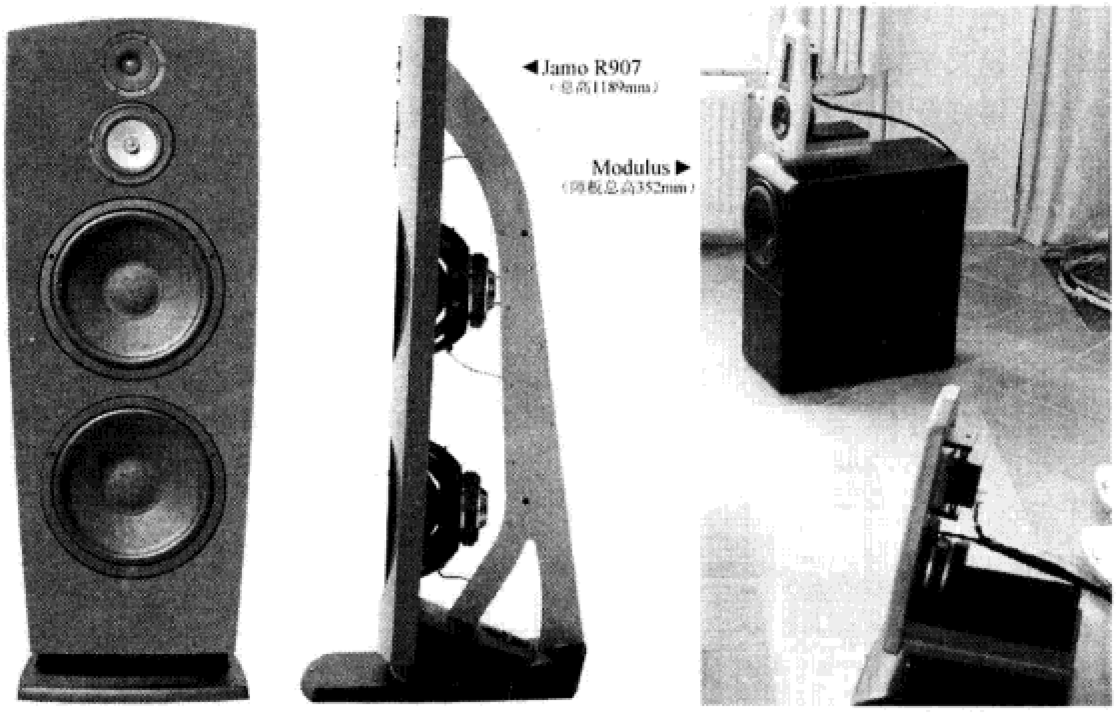


图1 R907与摩的音箱（别嫌小，很特别吧）

*Q*值所取的意义不相同，但实质和扬声器谐振是一样的，利用电一力类比可以相互转换。

在其他领域中谐振*Q*值通常包含有4种意义：第一种意义是谐振储能效率，第二种意义是谐振频率的选择性，第三种意义是谐振时电感、电容元件上的电压和总电压比，第四种意义是振幅衰减的快慢。

在均衡电路中，谐振*Q*值常取第二种意义——*Q*值越大谐振频率的选择性越强。而在扬声器谐振中，*Q*值常取第四种意义（*Qts*）——*Q*值越大，振幅衰减得越慢。

我们一看到*Q*值，首先要联想到“谐振、共振”这一物理现象，没有“谐振、共振”就不会有*Q*值，然后再分析*Q*值在该领域中表达的是哪种意义，这样才能深刻的理解该领域中*Q*值所要表达的意义。

上面介绍的有关*Q*值概念是“山寨版”的，自己拿来用用还可以，拿给别人看，别人会认为不够专业，没水准。生死事小，丢面子事大，怎么也要狠心来个正版*Q*值。*Q*值最普遍的定义等于谐振系统中储存的能量与每个周期消耗能量之比的2π倍。*Q*值越小，就意味着所需要付出的能量耗散越小（相对于储存能量来说），即谐振系统储能的效率越高。这条定义一定要背下来，可以让人对你敬仰得如同“滔滔江水连绵不绝”，但我常以为忘记“女朋友”的生日要比忘记*Q*值的定义后果要严重得多。

明白了扬声器谐振与*Qts*的意义，再了解“机械阻尼”*Qms*和“电阻尼”*Qes*就简单了，如果把*Qts*看成是对谐振的振幅“刹车”，再把*Qms*看成是“机械刹车”，*Qes*看成是“电动刹车”，通过“机械刹车”和“电动刹车”一起联合“刹车”来决定谐振的振幅衰减的快慢，所以*Qes*和*Qms*是并联关系：

$Qts = Qes \times Qms/Qes+Qms$。

$Qms = F0/\Delta F = 30Hz/10Hz = 3$

只需要测量出扬声器阻抗曲线就可以很方便地计算出*Qts*、*Qes*、*Qms*。

常用的密闭音箱中扬声器*Qts*是可以通过密闭音箱的容积来调整，理论上扬声器装上密闭音箱后*Qts*在0.7比较合适，但是实际上*Qts*的大小（0.5~1.5）对低频听感劣化的影响不是很明显。由于音箱系统的复杂性，常有*Qts*到1.0以上，也许还会让人感觉低音更“丰满”、更有“弹性”，低频的“控制力”更好。所以我们可以不要太在意*Qts*的大小，其实，*Qts*大小与扬声器超出冲程限制、扬声器失控带来的低音混乱、音圈打底等相比，只是“小巫见大巫”我们设计密闭音箱时，首先要保证的不是*Qts*大小，而是不能让扬声器超出冲程限制！

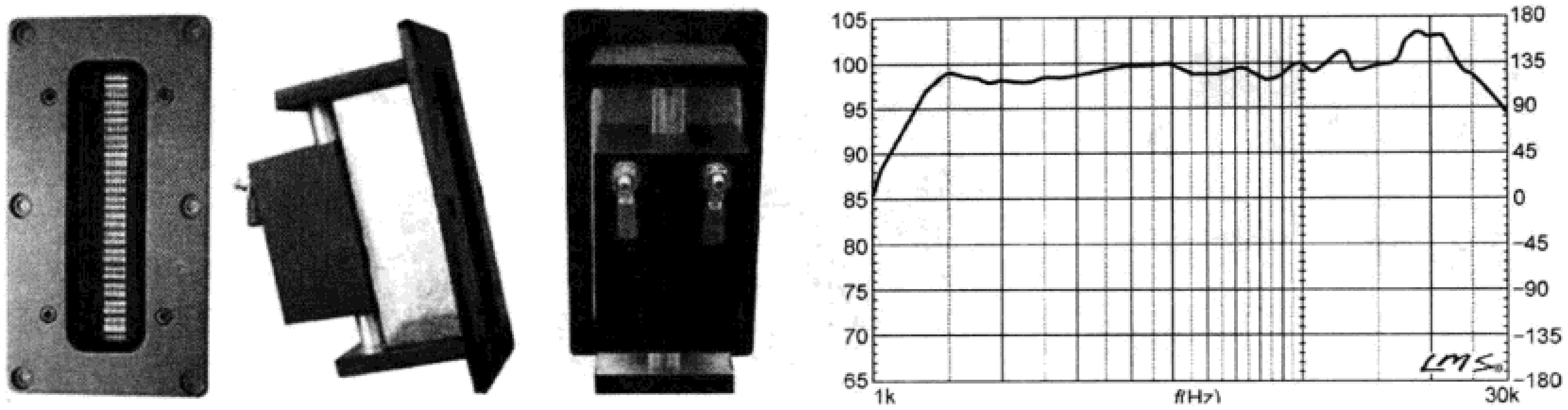


图2 RB100与G3 Si铝带式高音扬声器及其频响曲线（RB100）

表1 RB100与G3 Si的技术规格简表

项目	RB100	G3 Si
承载功率	50 W※	50 W
标称阻抗	6Ω	6Ω
直流电阻	140mΩ	140 mΩ
灵敏度（2.83 V/1W/1m）	97 dB	99 dB
铝带规格（长×宽，mm）	8.3×102	8.5×100
等效振膜振动面积	106 cm2	不详
振动惯量（Mms）	21 mg	不详
磁钢型号	N45 NdFeB	N45 NdFeB
磁隙通量（磁通）	0.6 Tesla	0.6 Tesla
频率响应（-3dB）	1400Hz～33 kHz	1400Hz～40 kHz
最低分频点	2300 Hz※※	2300 Hz
推荐分频点	≥2500 Hz※※	不详
自由谐振频率（Fs）	1300 Hz	不详
尺寸（宽×高×厚，mm）	74×140×77	74×140×77
重量（1只）	1.33 kg	1.33 kg

※ 输入端串接了18dB @3000 Hz的滤波器

※※ 输入端串接了3阶滤波器

表2 CA12RCY与CA26RE4X的主要技术参数

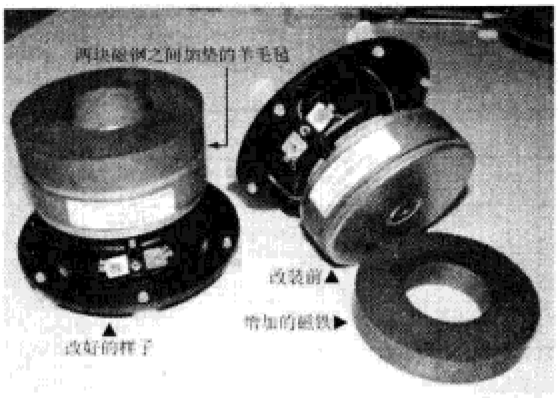
项目	CA12RCY	CA26RE4X
F_R（推荐的使用频率范围）	45～5000Hz	30～1500Hz
STPH（耐受功率，IEC 268-5）	200W	300W
LTPH（承载功率，IEC 268-5）	60W	80W
SPL（灵敏度，2.83V/1W/1m）	86dB	91dB
Zo（标称阻抗）	8Ω	8Ω
Z_{DC}（音圈直流电阻）	6.4Ω	6.1Ω
ZL（音圈电感）	1.05mH	3.08mH
Xmax（音圈最大线性行程）	6mm	8mm
Fo（自由谐振频率）	57Hz	25Hz
Sd（有效振膜面积）	55cm²	350cm²
Mms（振动惯量，振动质量）	6.1g	38.5g
V_{AS}（有效容积）	5L	164L
Q_{MS}（机械品质因数）	2.17	3.99
Q_{ES}（电品质因数）	0.36	0.30
Q_{TS}（总品质因数）	0.31	0.28
C_{MS}（力顺）	1.3mm/N	1.1mm/N
D_{VC}（音圈直径）	26mm	39mm
H_{VC}（音圈长度，总长/有效长度）	12mm/8mm	14mm/不详
*X*p-p（音圈最大行程）	9mm	20mm
H_{AG}（自由磁隙高度）	6mm	6mm
GGFD（磁隙磁场强度）	1.15T	0.9T
磁钢重量	0.42kg	0.64kg
总重量	1.20kg	2.17kg

“箱体”（俗称障板）结构应该是它的最大亮点。障板的优点是几乎没有音染。但是按照传统的设计方法，障板的尺寸一般都很大，而且为了避免不同单元之间的声波干扰，障板一般都是采用一只全音域扬声器。R907打破了常规，障板不但很小，从正面看与常见音箱的无异，从背部看才发现它只有常见音箱的前面板，还是多单元结构。R907还利用障板的特性，用2只并联的低音单元组成了偶极单元。而一般的偶极闭式音箱，无论是密闭箱还是开口箱，偶极式单元一般都是两只背靠背相向安装的串联单元。

摩的音箱是荷兰的爱好者Tony Gee（托尼·吉）设计的，箱体部分的制作则是由法国的爱好者Hubert Keller（休伯·特凯勒）完成的。R907的官方建议零售价是10000美元/对，摩的的制作费用在当地为500～700欧元（750～1000美元），主要是受分频器的元件选择的影响。不过国内的材料价格不同于国外啊，看完本文，相信你自已也会有一个核算。Tony的其他作品，Humble Homemade Hifi（草根家庭Hi-Fi自做，www.humblehomemadehifi.com）网站上还有不少。

纸盆和铝带的完美结合

这款名为“摩的”的组合式音箱融合了两种完全不同的箱体结构和不同风格的扬声器，经过了长时间的



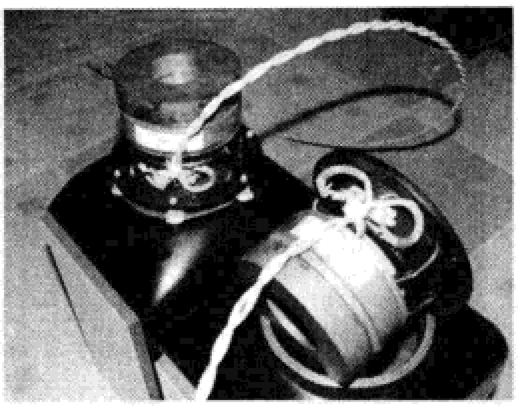


图3 CA12RCY - H1152低中音扬声器及其改造方法

调试才终于达到了两全其美的效果。“摩的”与R907的主要不同在于：一是组合式设计，障板与密闭式音箱相结合、锥盆扬声器与平面扬声器（铝带）相结合，二是小个子的中音障板，算是R907的迷你版吧。关于铝带式扬声器的详细情况，可以参考《无线电》2009年的第7期的《说一说AMT扬声器》。

高音单元

Celeritas的RB100等同于Aurum Cantus的G3-Si，两者都是优秀的铝带式高音扬声器，能够达到DVD-Audio和SACD的音频重放要求，技术参数略有差别，如表1所示，实物如图2所示。它们的振膜是质量非常轻的波浪式带状铝膜，有着非常宽的频响，同时高音的空气感很好。两者的磁钢是长框形的，磁钢型号为N45，材质是NdFeB（钕铁硼）稀土永磁铁，同时，两者也是防磁型的扬声器，背部是封闭的，可以单独使用也可以装入音箱。因为铝带的物理形状是竖放着的长条形状，所以RB100 / G3Si有着很好的水平扩散特性，但是（听音时）需要特别注意耳朵的高度（垂直扩散特性略差）。换句话说，如果障板的尺寸确定了，低音箱的高度尺寸就需要根据听音习惯适当调整。

中音单元

CA12RCY - H1152（以下简称CA12RCY）的实物如图3所示，技术参数参见表2，频响曲线参见图5。

CA12RCY是100mm的橡皮边（天然橡胶）低中音扬声器，挪威SEAS（Scandinavian Electro Acoustic Systems，中文行业名称：西雅士）的Prestige系列（意思是“声望”），这里用作中音扬声器。CA12RCY的纸盆采用手工涂覆工艺制作，涂层织物材料的防尘帽有助于减少谐振与失真，大型磁钢有助于形成更为对称均匀的磁场，采用特殊绕制技术制作而成的音圈有着非常好的线性。磁钢越大越有助于提高效率和降低Q值（因此我给它增加了第二块磁钢，改成了双磁结构）。冲压成型的金属盆架刚性和强度十足而且尺寸精确。盆架的开孔比较大，有助于减少声波的反射、空气流动噪声和空腔共振。CA12RCY的大磁钢是SEAS的1120系列，磁力系数BL值从6.35提高到了6.85——提高了将近10%或者更多，我的听感评价是动态偏大还有些“音染”。加速系数从已经相当不错的1041到非常理想的1123（这个数值实际上是某失效率级别条件下的实验时间，中国1995年的行业标准为W级）。效率也比正常水平高约0.65dB。

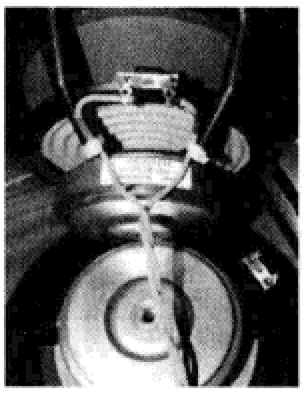


图4 CA26RE4X - H1316低音扬声器及其特性曲线

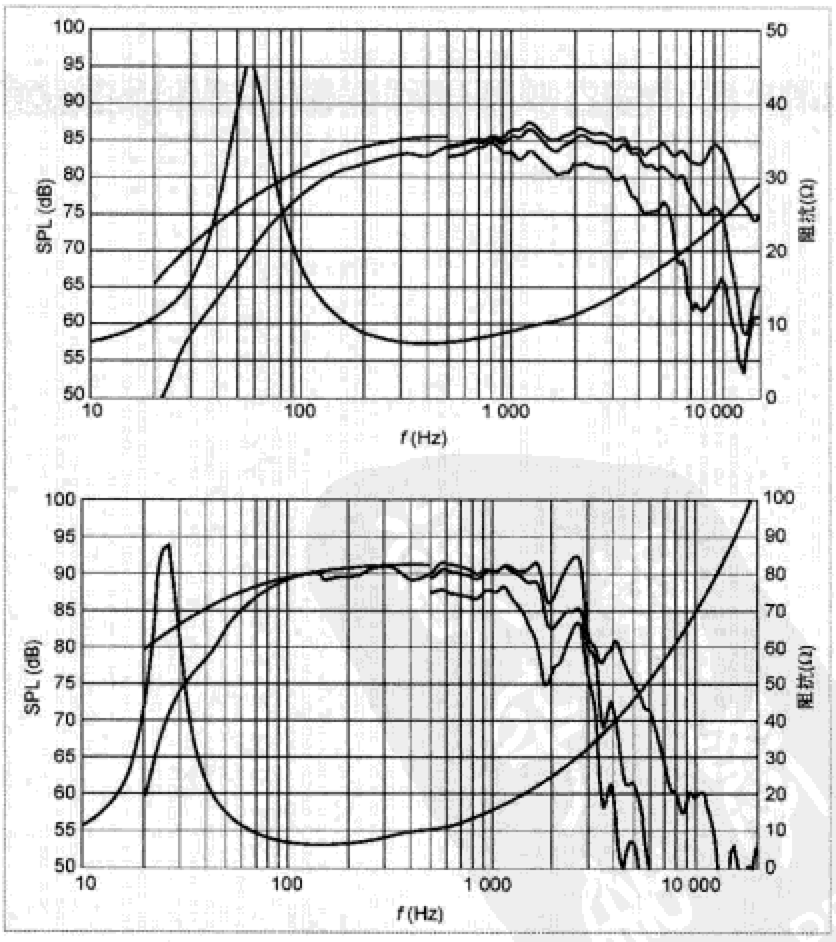


图5 CA12RCY与CA26RE4X的频响曲线

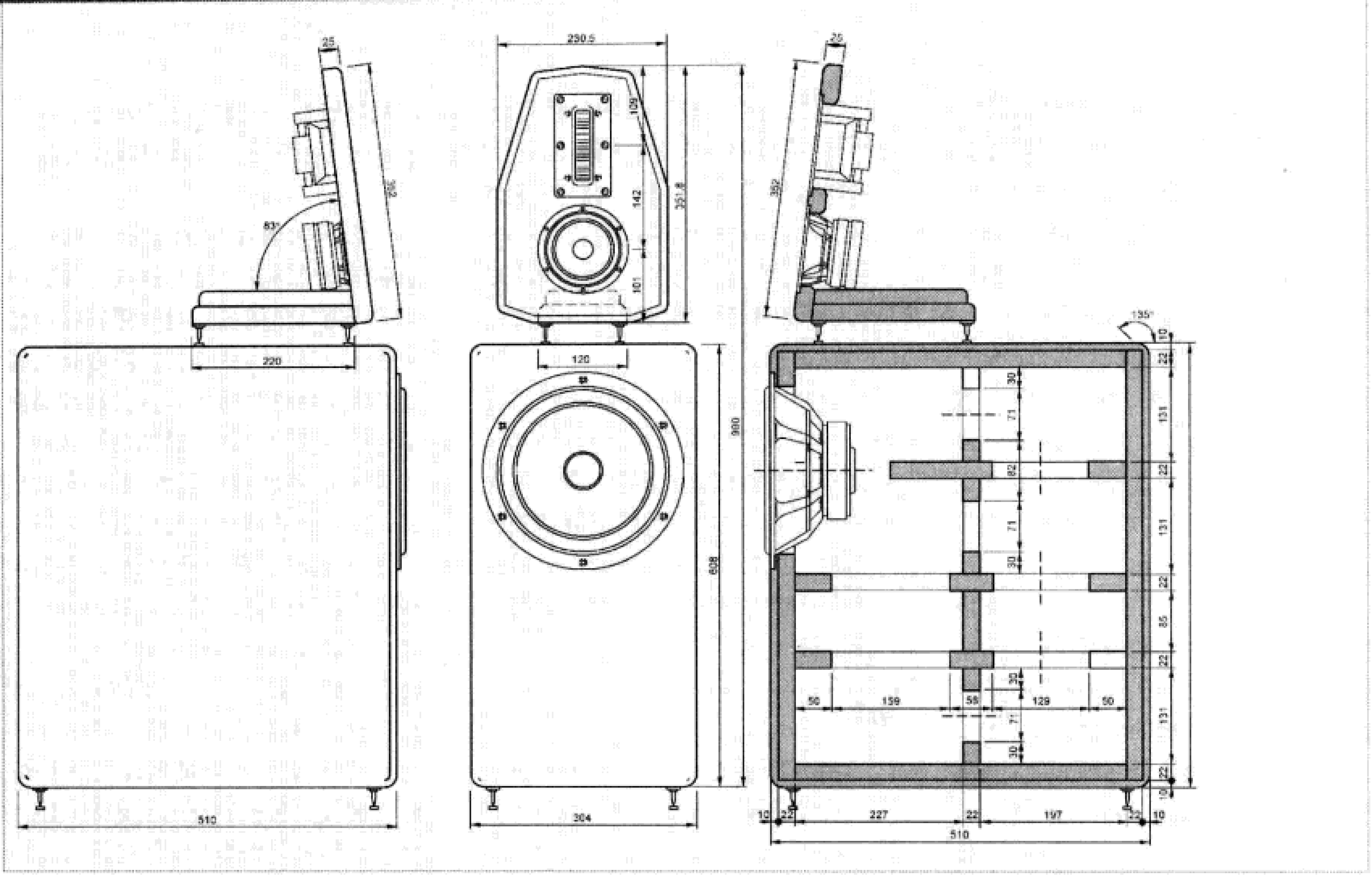


图6 箱体结构尺寸图

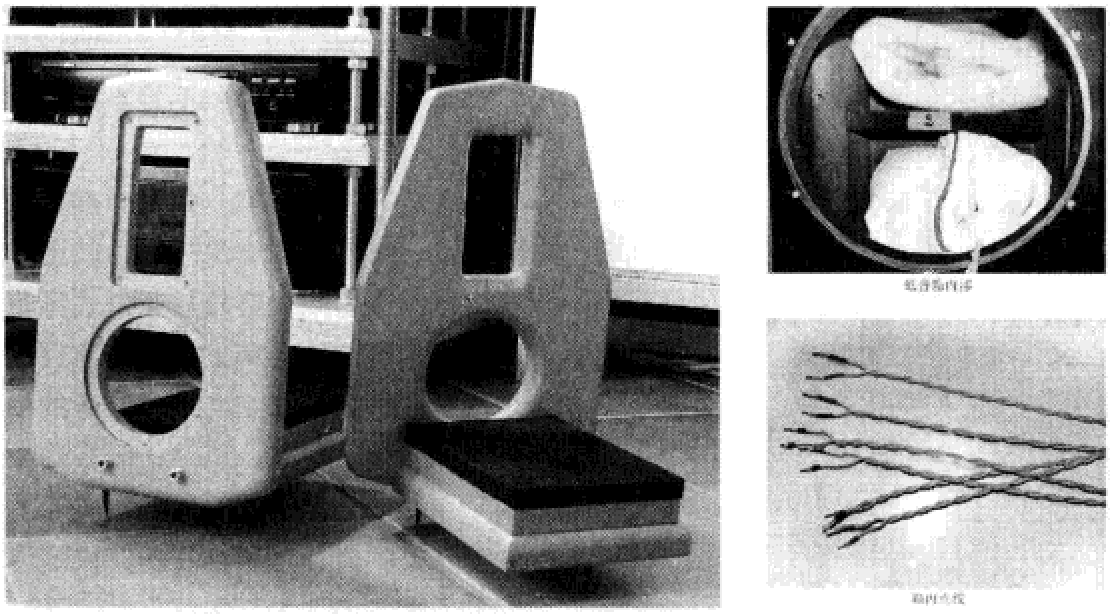


图7 做好的中音障板及其低音箱内部、箱内连线

低音单元

SEAS的CA26RE4X - H1316（以下简称CA26RE4X）是一款口径260mm的低音扬声器，与CA12RCY同属Prestige系列，纸盆与悬边的材质、工艺以及磁钢、盆架的特点也与CA12RCY相同，实物如图4所示。CA26RE4X的音圈为四层结构，音承载功率大，带外滚降特性相当规整。

箱体内外

中高音单元部分，最初的设计是半开放式的（没有后面板的音箱），我曾经用法国Focal（福柯）的Audiom系列做过类似的音箱。但是在调试时发现驻波非常严重，只有靠填充大量的吸音棉来缓解，这必然会牺牲系统的自然动态，于是最后决定改为完全开放的障板。在随后的调试过程中还发现这个中音障板对摆放位置和阻尼材料的数量的要求都比较严格，不过一旦调整好了，我们就可以放心去品味一个完全开放的、动态十足的、中频无音染的中音障板了。障板的底部有3个脚钉，放置在低音箱的上部，它的形状同时考虑了功能性和观赏性。之所以称之为中音障板，是因为高音单元的背部是完全封闭的，可以视为单独的一个高音“音箱”。

低音箱的结构是比较常见的密闭式，箱体由两层MDF（Medium Density Fibreboard，中密度纤维板）组成，内层为22mm，外层为10mm，总厚度为32mm。箱体内部镶嵌有加强筋，等效容积50L，CA26RE4X的箱体容积的官方推荐值是不小于80L，这里是为了兼顾音箱的高度、正常的听音高度以及视觉效果。障板中心位置的理想高度应该与人耳朵的高度（习惯听音的姿势）相等，以此为依据来确定音箱的总高度，障板已经确定了，也就确定了低音箱的高度，然后是其他各边的

尺寸，这些尺寸是基于Fibonacci数列（以“斐波纳契”命名的一种整数数列，每个数等于前面两数之和）的，如3、5、8、13等。这样的尺寸系列既能使音箱看起来比例协调，同时对分散驻波产生的声学条件也比较理想。

箱体的总Q值（以下写作Qtc）是0.58，这是将最大平坦响应参数（Qtc=0.707时）和最佳脉冲响应（Qtc=0.5时）参数进行折衷的结果。最终确定的箱体尺寸如图6所示，中音障板的实物如图7所示。

低音箱的吸音材料以松松散散填满箱体为宜，一般的醋酸纤维棉即可，如Sonofil（西班牙的一个品牌）的产品，参见图7。障板的水平底板上敷设15mm厚的高密度泡沫海绵，用来衰减这个区域的声波反射。箱内连线都是普通的PTFE（Polytetrafluoroethylene，聚四氟乙烯）外皮的无氧铜镀银线，如图7所示。

另外，被改造成双磁结构的中音单元的后部位置粘贴了环状的羊毛毡，4～5mm厚，如图8所示。在后序的调试过程中，一度将环状的羊毛毡改成了整块的，包覆了扬声器的整个磁钢后部，但是表现不够一贯。

分频器

分频器需要花费很多的功夫去调整才能令人满意。要注意的是箱体单元相同的条件下，障板扩散到房间里的中音频域的能量要比闭式音箱更多，即使正轴响应测试的结果没有体现出来，事实也是如此。最后确定的分频器电路是简单的两路串联和一路并联的LRC网络，中音、高音单元串联，低音与二者并联，组成了一个等效的2.5路分频电路，电路原理图如图9所示，分频点为350Hz、2200Hz。

低音单元的分频网络是简单的1阶分频+RC衰减补偿网络（补偿分频网络中的电感对低音音圈的阻抗引起的“电感性电压上升”的影响，换言之，分频器中的电感与音圈是串联关系，对功放而言相当于“音圈”的电感量增加了，自感电动势也随之升高。）另外，LCR网络使低音单元在f_b（低音单元的低端转折频率）位置的阻抗峰值降低了，L3对此进行了补偿。

分频器所用元件的详细规格参见表3，制成的实物如图10所示。这个分频器与所用的箱体单元相匹配，在全音域范围内，这款组合式音箱都有着平坦的阻抗特性，对功放而言，这样的音箱比较容易驱动，具体参见图12所示的阻抗曲线。

听音

当分频器也终于制作装配完成时，音箱就算基本做好了，花了大把的“银子”和漫长的时间，终于可以坐下来听一听了。记得决定要做这对音箱时，是希望它的动态要超过我现有的2路音箱（实际上已经非常好了）。我所在意的听音体验（包括动态、音场、动感、细节、活力等）都轻松地达到了，而且不仅如此，这对音箱给我的感觉是相当的完美，我的意思是说所有的指标都达到了最高而且又都颇具个性：音乐流淌而来，声音飘然而去，一切都显得和谐完美。卧看落月横千丈，起唤清风得半帆，不是么？

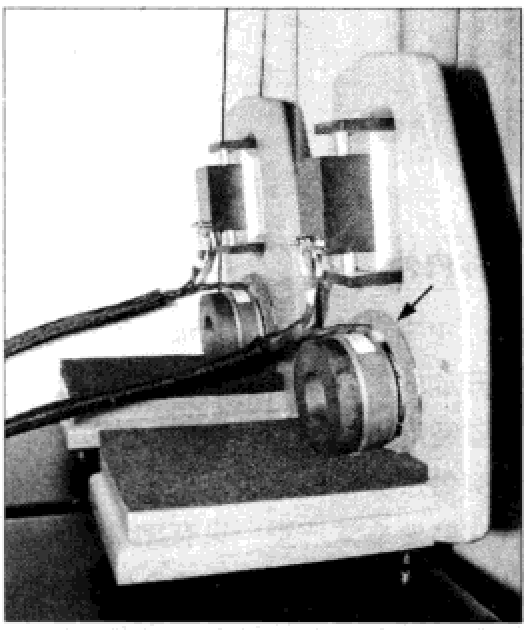


图8 完成的障板背部特写，注意图中箭头所指的环状羊毛毡

给人印象深刻的音箱，其首要的品质是临场感。我想这首先应该归功于无音染的障板，其次是锥盆中音和铝带高音的有机组合，再者是有着良好阻尼特性的密闭式低音箱和简单明了的分频器设计：逼真而不做作，比如中音频域就不再有常见的凸出感，每一个箱体单元都得以用之所长而掩饰其短（哪有全是优点的扬声器啊）：这也体现了设计者的设计功底。与我原有的2路音箱相比，中、高音的细节更多了，低音则更为内敛和凌厉（速度感，干脆，不拖泥带水）。除此之外，灵敏度也恰到好处，重放大动态的音乐也毫无问题。重放特别表现现实主义的音乐时，结像力和音场也同样稳定。对这对音箱的“个性”，我的感觉是只能用独特来形容，我的耳朵有了全新的体验。

瑕不掩瑜，小小的不足当然也是有的。

首先是低音偏紧，如果力度略微强一点，下潜再略微深一点，就更好了。当然，密闭式音箱与开口式音箱相比，力度往往会稍逊一点，而且这个低音箱的容积与SEAS官方推荐的相比也确实小了一点。总之，低音略微紧了点，无音染（即无箱振，实际上没有音染的音箱是不存在的，只是你感觉不到或者测量不到而已），不过我宁可减少一些低频段的阻尼而使低音更强。我甚至有了去掉低音箱中的吸音棉的想法，尽管过去我没有这么做过。

其次，如果听音位置偏高，会有轻微的刺音（高频颤噪效应引起的一种颤音，与“破音”类似），而且只在重放某些CD时有。既然障板上中音单元的后部位置已经贴装了一些羊毛毡，那么障板后面全部贴装会不会改

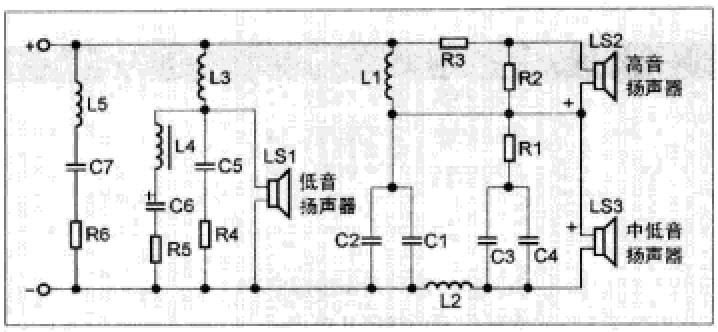


图9 摩的音箱的分频器电路原理图

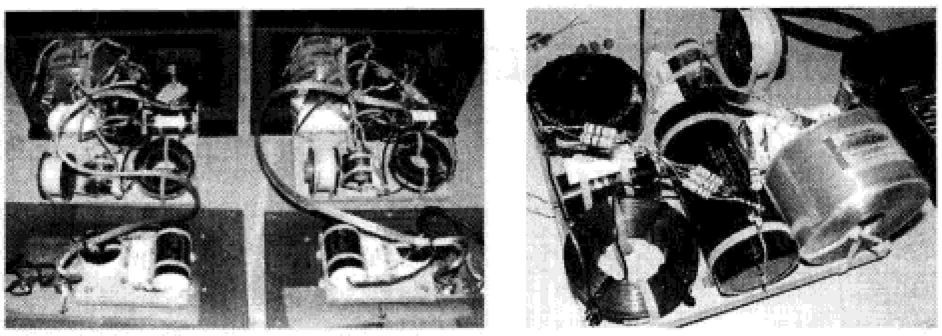


图10 安装在低音音箱背板上的分频器

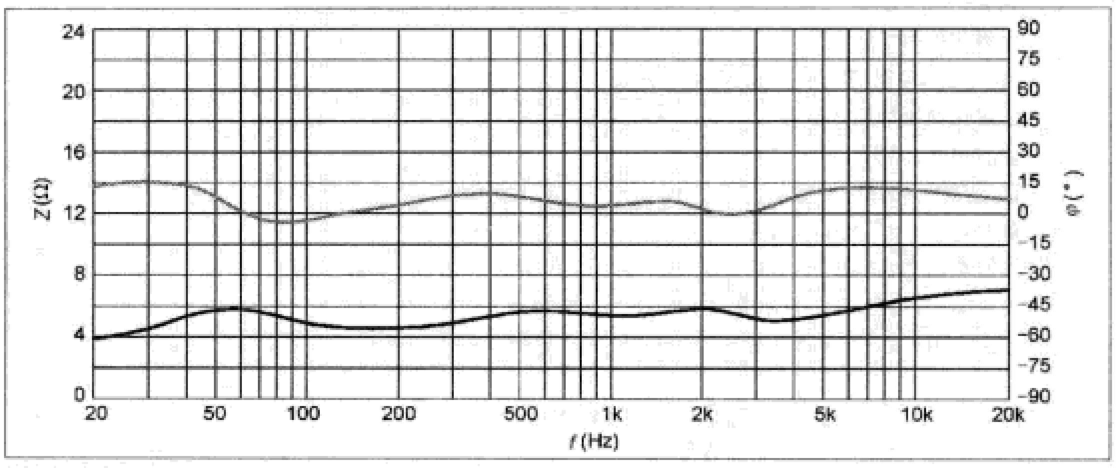


图11 频响曲线

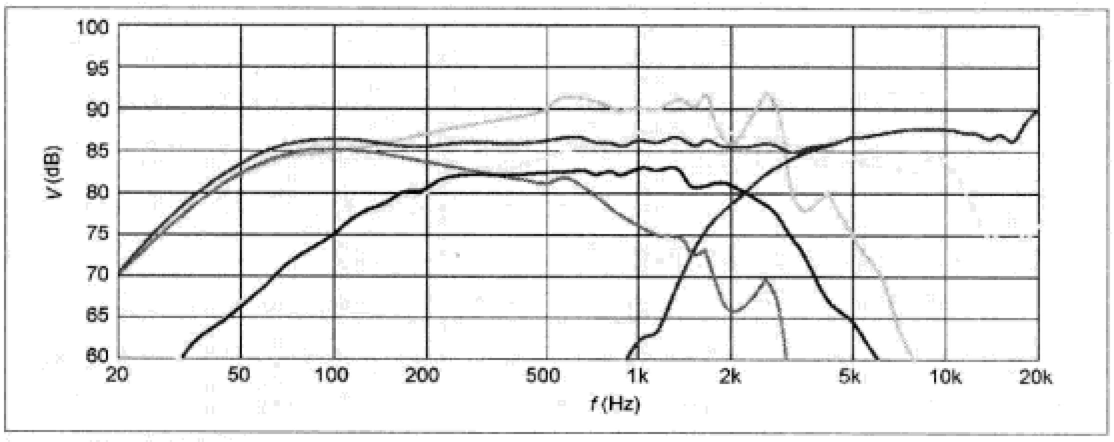


图12 阻抗－相移曲线

善上述现象呢？这样做也许会对高音的明度产生负面影响，试一试还是应该的。我的目的是想让这对音箱的声学特性和电气特性都更加完美，也更对得起我的耳朵。

微调，调、调……

1. 去掉低音箱中的两块吸音棉。这两块吸音棉的位置是在加强筋隔开的内部空腔中的右上部，参见图6。这样在箱体内部，背板和顶板相交的位置，箱板就裸露出来了。试听的结果是低音的细节增加了，低频段的灵敏度也有所提高。在我自己的听音室里，低音与中音、高音的衔接也非常好，没有“瓮声”（低音拖尾，类似人瓮声瓮气的声音），重低音也不显得松弛。

2. 调整脚钉，使整套音箱略微后仰。方法是在前脚钉上增加两个圆垫圈，紧固螺母也增加为两个。这样就可以让高频上段（5120~10240Hz）稍微减弱一些（至少在我的简陋听音室中是这样）。

3. 将CA12RCY后部的环状羊毛毡去掉，参见图8，改用略微薄一些（4~5mm）的羊毛毡将磁钢完全包覆起来，这样做有助于减轻中音频域能量的过度集中而使声音更加放得开。

改进效果：不敢说完美，但是相当有成就感！虽然听音室因人而已，但是这么简单的调整一下吸音棉、羊毛毡，效果却是立竿见影，令人难以置信！现在再听这对音箱，我也不得不佩服我自己：什么时候听到过如此这般的声音……

再调，再听……

煲箱就像煲汤，需要时间。经过长时间的反复调整试听，在试过很多种的吸音棉和放置方法之后，最后我发现，重放一些CD时所出现的频率失衡问题应该还有其他原因。

低音箱中最初放置吸音棉的方式使声音听起来偏紧并且缺少谐振（阻尼显得过了）。但是去掉一些后，听某些CD时有时候又觉得临场感太强了，于是就反复调整中音单元后部的吸音材料，最后用羊毛毡把CA12RCY的磁钢包起来的效果也的确令我满意：音场、明度、细节和动态都很完美。最后我能确认的问题是：当我听那些高音丰富的CD时，声音的表现才显得太粗糙。在中音单元的后面放置再多的羊毛毡也无济于事，反而会损失不少细节。

因此问题的症结应该是高频段的灵敏度，我推测能发现这些是因为我的听音位置距离音箱相对（别人）比较近，这个位置我认为能获得更好的音场。

最后的调整

给R2并联一个33Ω的电阻，功率3~5W即可，其他要求同R2。静下心

表3 分频器元件规格表

编号	制造商	品牌/型号	基本参数	容差	说明	备注
L1	Intertechnik	Tritec	0.68mH	2%	空芯电感，直流电阻0.17Ω	1
L2	Intertechnik	Tritec	1.20mH	2%	空芯电感，直流电阻0.14Ω	2
L3	Intertechnik	Torobar	4.7mH	2%	空芯电感，直流电阻0.20Ω	
L4	普标或自制	18mH	5%	铁芯电感，直流电阻3.5Ω	3	
L5	普标或自制	0.47mH	5%	空芯电感，直流电阻0.57Ω		
C1	Mundorf	M-Cap	10μF	2%	Supreme系列油浸银膜电容	
C2	Vishay	MKP1837	0.01μF	1%	金属化聚丙烯箔式电容	
C3	Mundorf	M-Cap	5.6μF	2%	Supreme系列金属化聚丙烯箔式电容	4
C4	Vishay	MKP1837	0.01μF	1%	金属化聚丙烯箔式电容	
C5	普标	47μF	5%	金属化聚丙烯箔式电容		
C6	普标	420μF	5%	390μF的电解与33μF的MKT电容并联		
C7	普标	33μF	5%	金属化聚丙烯箔式电容		
R1	普标	10Ω	2%	碳膜电阻，10W		
R2	普标	3.9Ω	1%	碳膜电阻，10W		
R3	普标	5.0Ω/10W	1%	碳膜电阻，2只10Ω/5W并联		
R4	普标	5.6Ω	5%	水泥电阻，10W		
R5	普标	5.0Ω/20W	5%	水泥电阻，2只10Ω/10W并联		
R6	普标	7.5Ω/10W	5%	水泥电阻，2只15Ω/5W并联		

※ 容差指的是两个音箱分频器所用元件参数的最大偏差。
(1) L1 也可用法国 Solen 的 Perfect Lay 系列中的 SI14/.68 或美国 Alpha Core 的 Goertz 系列中的 CFI 14AWG。
(2) L2 也可用德国 Mundorf（蒙多福）的 CFC-10 或 Alpha Core 的 Goertz 系列中的 CFI 12AWG。
(3) 普标：音响专用的普通标准产品。
(4) C3 也可用德国 Intertechnik 的 Audyn 系列中的聚丙烯箔式电容。

来聆听我所有的CD，细节或者动态都没有损失，个性更加鲜明，低音区的细节更多，但是仍然有些偏紧，和我的Rogers（乐爵士）功放搭配得很好，与我的SKA功放搭配，有时音色会偏暗那么一点点，音场也有所变大，总之，我现在是真的满意了。

测量

以下测量采用的是美国Audua 出品的Speaker Workshop软件。

图11所示的是20Hz～20kHz频域内的滤波函数曲线，即箱体单元的频响曲线，纵轴刻度间隔5dB，未滤除黑线（相当于0电平校正）。全音域曲线（红线）非常平滑，输出电平变动范围在±1dB之内，效率约86.5dB。分频点中心频率约350Hz、2200Hz。不难发现低音（左侧的绿线）和中音（蓝线）的输出有很多重叠，这是因为障板对低音的衰减不足所致。另外从图中也不难发现高音（右侧的绿线）的效率需要有所降低以便与其他单元相匹配。上述曲线都是近场响应测试，原因是障板的天性如此，上述测试在标准距离上进行很难有什么实际意义，下文有远场条件下的白噪声的输出曲线（图13）。

20Hz～20kHz频域内的阻抗曲线如图12所示。纵轴刻度间隔，左侧每格2Ω，右侧相位角每格15°。阻抗曲线总体来看比较平滑，低、中频频域4Ω起，基本没有超过6Ω，到高频频域，提高到了7Ω；最小阻抗出现在20Hz位置，阻抗3.9Ω。相移基本控制到±15°之内，对多数功放来说，是非常容易推动的。

因为二次反射波的关系，目前还没有一种方法能够完全客观地对音箱进行测试——即使是业内常用的MLS（Maximum Length Sequences，最大长度序列，也称为“伪随机噪声”），也是我所采用的测试方法，也难以完全去除房间（反射声）的影响。好在这种测试方法已经有了大量的实际主观试听结果与之佐证，还是很有说服力的。我已经用这种方法测试过几对音箱了，频率平衡性方面，测试结果和主观听感之间的相关性都非常好。尽管平衡不是决定音箱性能的唯一重要因素，但却是一个非常有代表性的一个重要因素。音箱的室内平衡特性就像人的指纹——是音箱、房间所特有的（特定的音箱放在特定的房间里，音箱或者房间不同，平衡性就会不同），是听感所能及的——对音箱所有的声学特性都有所体现。如果没有室内平衡特性测定，我们就会容易被非主要因素所“蒙蔽”，就是那些并非原声（即人工修饰过的）却又好听、又不容易为人察觉的声音。一旦室内响应特性进行了正确的测定，发掘隐藏于表面现象之下的真相就变得非常容易了——它所显示的是音箱而不是房间的一些基本的特征，这种测试值得一做。

充满毛刺的白噪声输出特性虚线如图13所示，对所有扬声器混合取样的话筒的位置在距离音箱正前方2m处。两只音箱相距2m，即话筒水平的位置与两只音箱呈等边三角形关系，这样应该更能真实的反应音箱的特

性。850Hz前后凸出的波峰应该是由于声波放射造成的，因为近场测试方法（基本不会收到反射波的影响）在这个频域没有显示。当然，无论重放哪种类型的音乐也不会被听到。15kHz附近的跌落则是我的测量系统的自身的问题造成的。

制作

1. 箱体单元的选择

SEAS的扬声器比较容易买到，如果不是很有市场经验者，最好从直销店或者官方指定代理购买，虽然价格可能不是很优惠，但是如果买到假货，你会更受伤。

铝带式扬声器目前还不是很流行，不同的地方能买到这种扬声器的牌子就不一定相同，价格差别也很大。至少3倍于同档次的球顶高音的价格，甚至更高，才会让你更喜欢铝带这种扬声器。换句话说，铝带很贵，太便宜的话，宁可选择球顶。不管哪一种，背部封闭式的结构是必要的，否则的话，就要单独为之做一个密闭的小室。

2. 箱体材料的选择

MDF板材有两种，一种是本文所用的中纤板，就是木纤维+填充物+胶合剂挤压成型的板材，很压手。市场上常见的这种板材，填充物往往是加过了量的，这些诸如石粉之类的填充物对音色取向会有影响。

另外一种MDF是Medium Density FLoor（中密度多层胶合板），表面可见木纹纹理，断面可见一层层的、颜色各异的薄板断面，虽然不乏名箱采用这种板材，但是不适合本例音箱的制作。

3. 箱体制作

如果你不是很有经验的木工并且工具齐全，箱体大都会委托别人制作。如果有条件，榫卯结构最合理，拼接方式次之（图6即为拼接方式），不管哪种方式，黏合剂很重要。

低音箱体采用两层板材，主要是为了避免开沉孔，如果刚好设备合适（有木工铣车之类的工具），同时类似厚度规格（32mm左右）的板材也可以买到，也可以采用单层板材，这样可以省去两层粘接的工序。

4. 分频器的制作

毋庸置疑，器件的选择很重要，尤其是没有合适的测量仪器的时候，只有按照文中器件参数，选择大品牌的产品才比较保险。对国内的爱好者而言，Mundorf和Solen的产品可能好买一些。如果专业测量仪器（物理仪器）齐全则另当别论，一般的国内品牌也是完全可以的，只要下功夫测量和试听就可以了，鱼与熊掌，总是很难兼得的。

5. 试听与调整

请第三人一起试听非常必要，尤其是自己音乐鉴赏力比较差，自己喜欢的一些音乐往往更“好听”，如果没有条件进行客观测试时更是如此。所谓的“金耳朵”不一定好找，大家都觉得好听的“箱子”也是比较靠得住的。

如果将音箱和音响系统比作歌唱家和乐队的话，房间就像是音乐厅，所以音箱的最后试听调整一定要在自己经常听音乐的房间里，用自已常用的放大系统进行评估，其他的测试只能做参考。否则你可能会对客观测试结果越来越迷惑：因为好听的音箱指标不一定好看，指标好看的音箱也不一定好听。

业余条件下进行消声室测量往往很不现实，不但硬件设备昂贵，还费钱又费工。CAT（Computer Aided Test，计算机辅助测试）相对来说就简单一些，成本也更低廉。就声学测量而言，基于MLS的测试方法获得了业界广泛的认同，如图2曲线图采用的LMS（Loudspeaker Measurement System，扬声器测量系统）以及本文所采用的Speaker Workshop。有着大量高端音箱测量实践的则是美国DRA实验室的MLSSA（Maximum-Length Sequence System Analyzer，MLS系统分析），《高保真音响》杂志从2009年开始，每期都有一款采用MLSSA测量并进行图形分析的高端音箱介绍。

基于CAT的声学测量也称为“准消声室测量”，与传统经典的消声室一样，需要相应的主观听感进行佐证，仅仅是测量数据和曲线并无太大的实际意义。

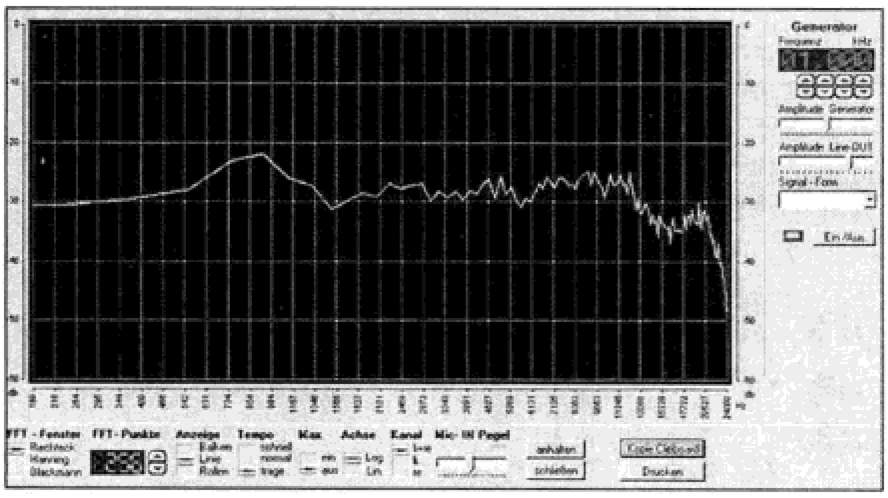


图13 白噪声输出特性曲线

◎韩锛（BG5CJT）

小甲诞生全记录

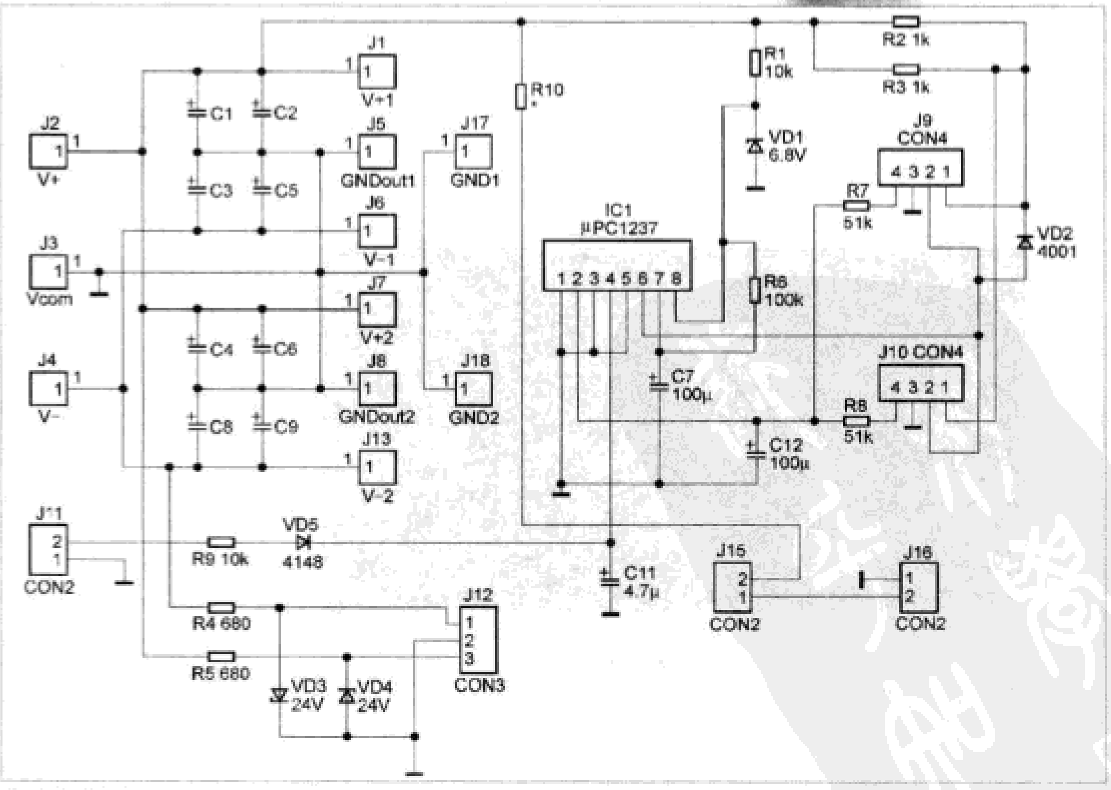
——25W晶体管甲类Hi-Fi功率放大器

甲类功放也称A类功放，其特点和定义大家在百度上能搜索到。作为音响DIYer来说，制作甲类功放也算是能力和水平的一种终极考验，就像“不到长城非好汉”一样，这是DIY功放的一个台阶和象征！在此，我介绍一款25W晶体管甲类Hi-Fi功率放大器的制作过程，希望与大家一起分享我的快乐。

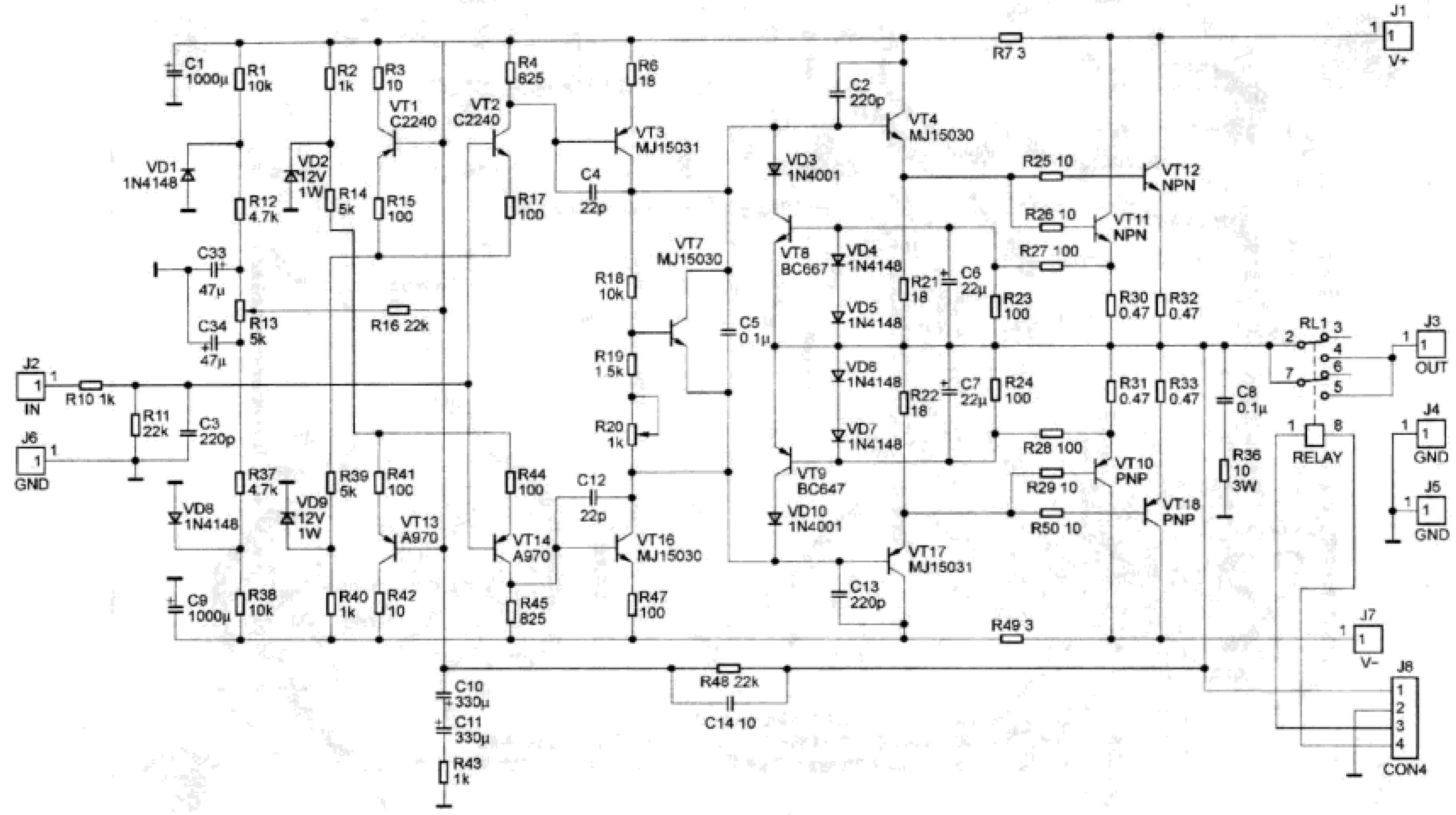
功放特点

（1）以模块式框架设计，能方便使用不同功放主板，前级模块采用AD797，声音中性，动态大。

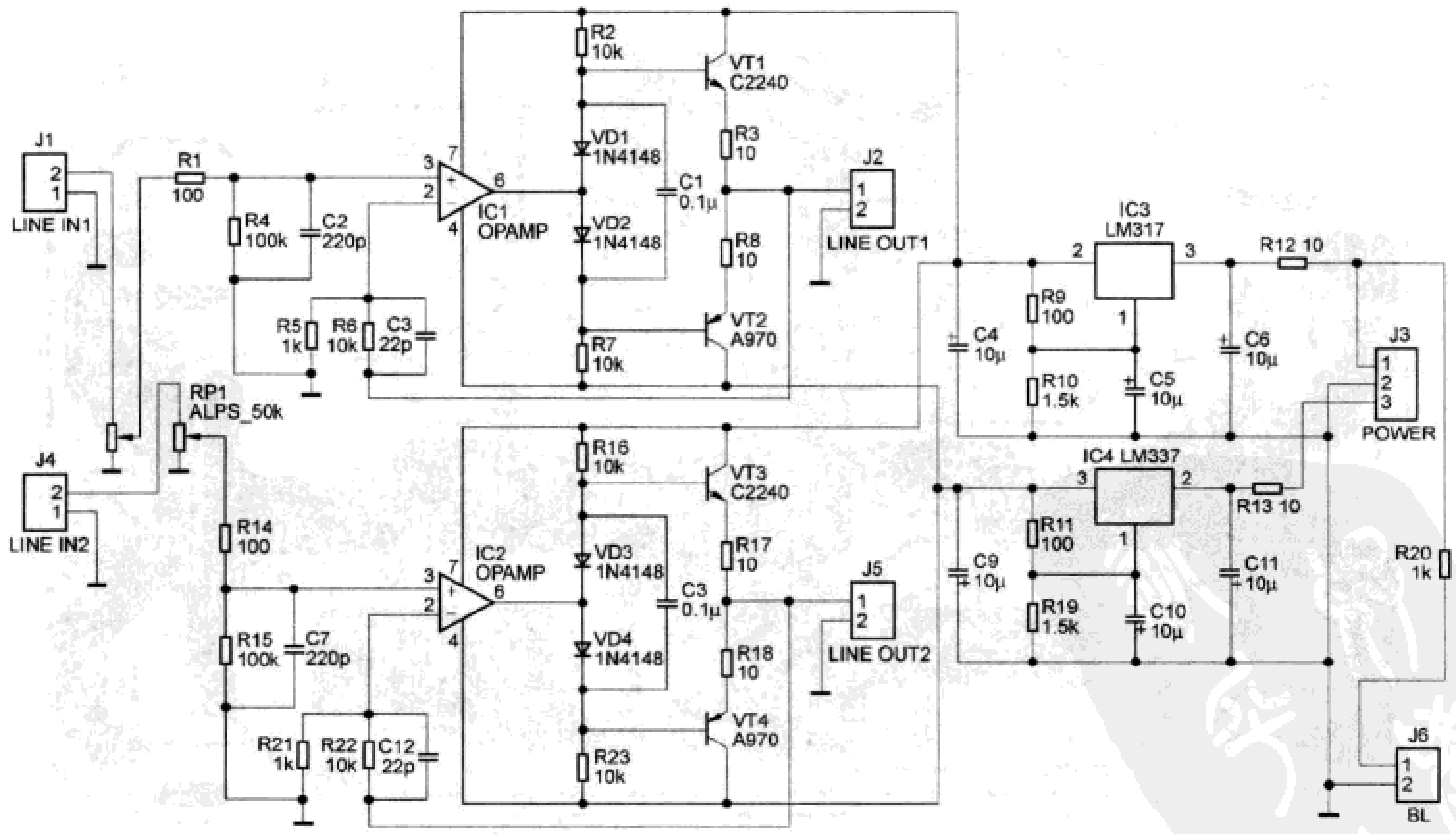
（2）主功放电路参考KRELL KSA50电路。



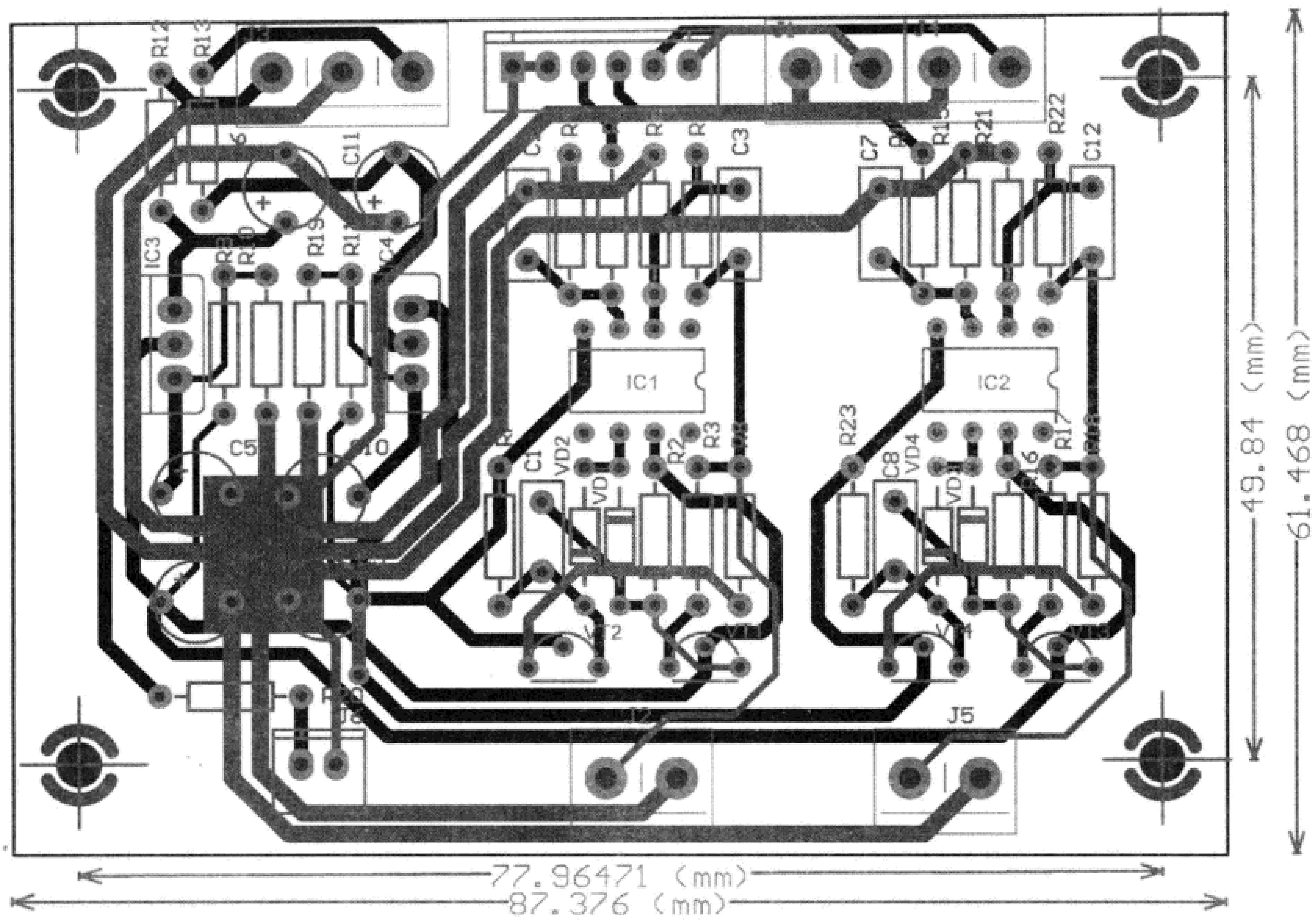
电源电路


J1
V+
C1 1000μ
R1 10k
R2 1k
R3 10
VT1 C2240
VT2 C2240
R4 825
R6 18
VT3 MJ15031
VD1 1N4148
VD2 12V 1W
R12 4.7k
R14 5k
R15 100
R17 100
C4 22p
C33 47μ
C34 47μ
R13 5k
R16 22k
VT7 MJ15030
R18 10k
R19 1.5k
R20 1k
C5 0.1μ
J2 IN
R10 1k
R11 22k
C3 220p
J6 GND
R37 4.7k
VD8 1N4148
VD9 12V 1W
R39 5k
R41 100
VT13 A970
R44 100
C12 22p
VT14 A970
VT16 MJ15030
C9 1000μ
R38 10k
R40 1k
R42 10
R45 825
R47 100
C2 220p
VT4 MJ15030
R7 3
VD3 1N4001
VT8 BC667
VD4 1N4148
VD5 1N4148
R21 18
C6 22μ
R23 100
VD6 1N4148
VD7 1N4148
R22 18
C7 22μ
R24 100
VT9 BC647
VD10 1N4001
VT17 MJ15031
C13 220p
R49 3
R25 10
VT12 NPN
R26 10
VT11 NPN
R27 100
R30 0.47
R32 0.47
R31 0.47
R33 0.47
R28 100
R29 10
VT10 PNP
R50 10
VT18 PNP
C8 0.1μ
R36 10 3W
RL1
RELAY
J3 OUT
J4 GND
J5 GND
J7 V-
J8 CON4
C10 330μ
C11 330μ
R43 1k
R48 22k
C14 10

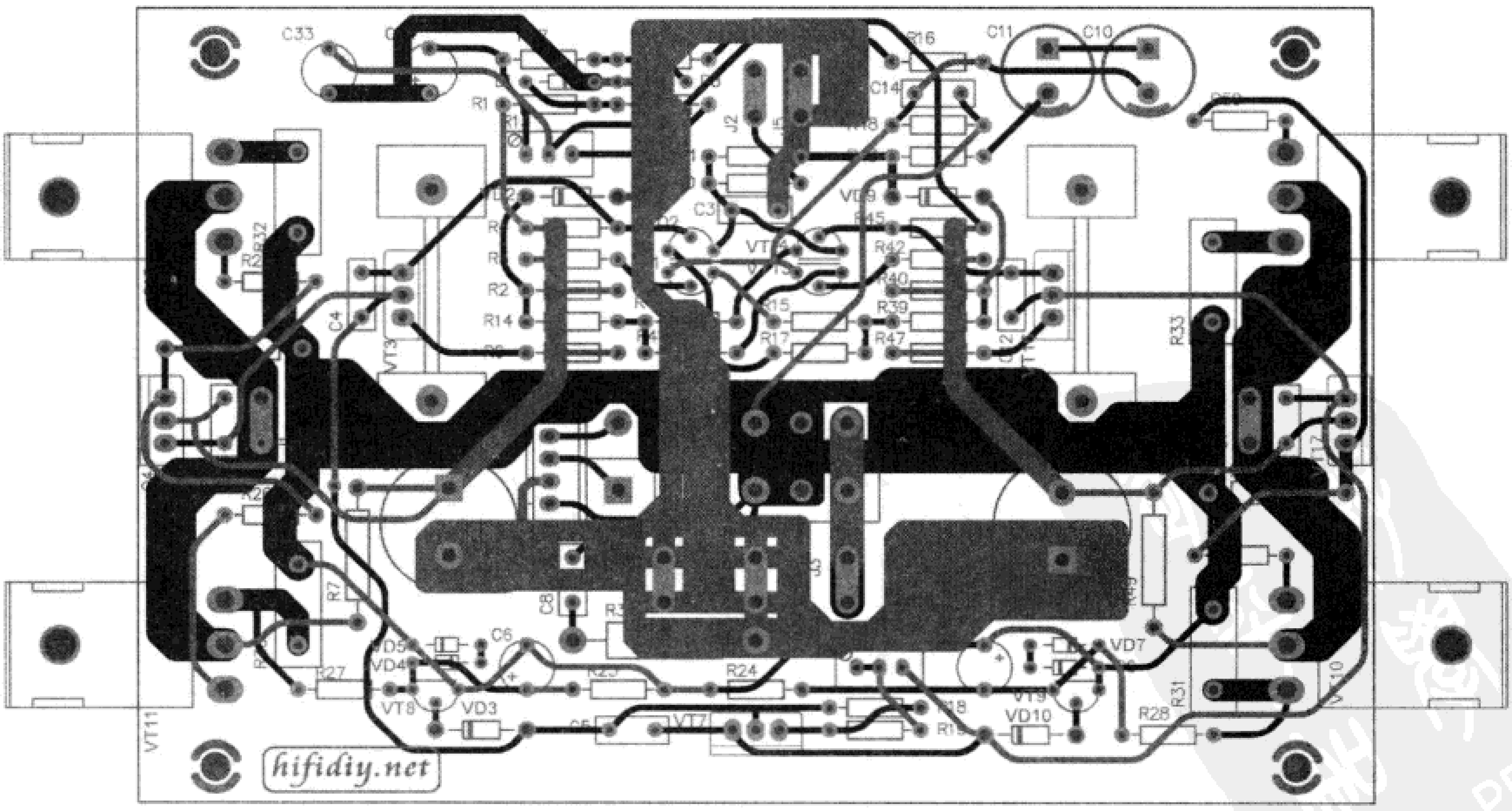
放大电路


J1 LINE IN1
R1 100
R4 100k
C2 220p
R5 1k
R6 10k
C3 22p
IC1 OPAMP
R2 10k
VT1 C2240
VD1 1N4148
VD2 1N4148
C1 0.1μ
R3 10
R8 10
VT2 A970
R7 10k
J2 LINE OUT1
RP1 ALPS_50k
J4 LINE IN2
R14 100
R15 100k
C7 220p
R21 1k
R22 10k
C12 22p
IC2 OPAMP
R16 10k
VT3 C2240
VD3 1N4148
VD4 1N4148
C3 0.1μ
R17 10
R18 10
VT4 A970
R23 10k
J5 LINE OUT2
IC3 LM317
R12 10
R9 100
R10 1.5k
C4 10μ
C5 10μ
C6 10μ
J3 POWER
IC4 LM337
R13 10
R11 100
R19 1.5k
C9 10μ
C10 10μ
C11 10μ
R20 1k
J6 BL

前级电路



前级电路的PCB

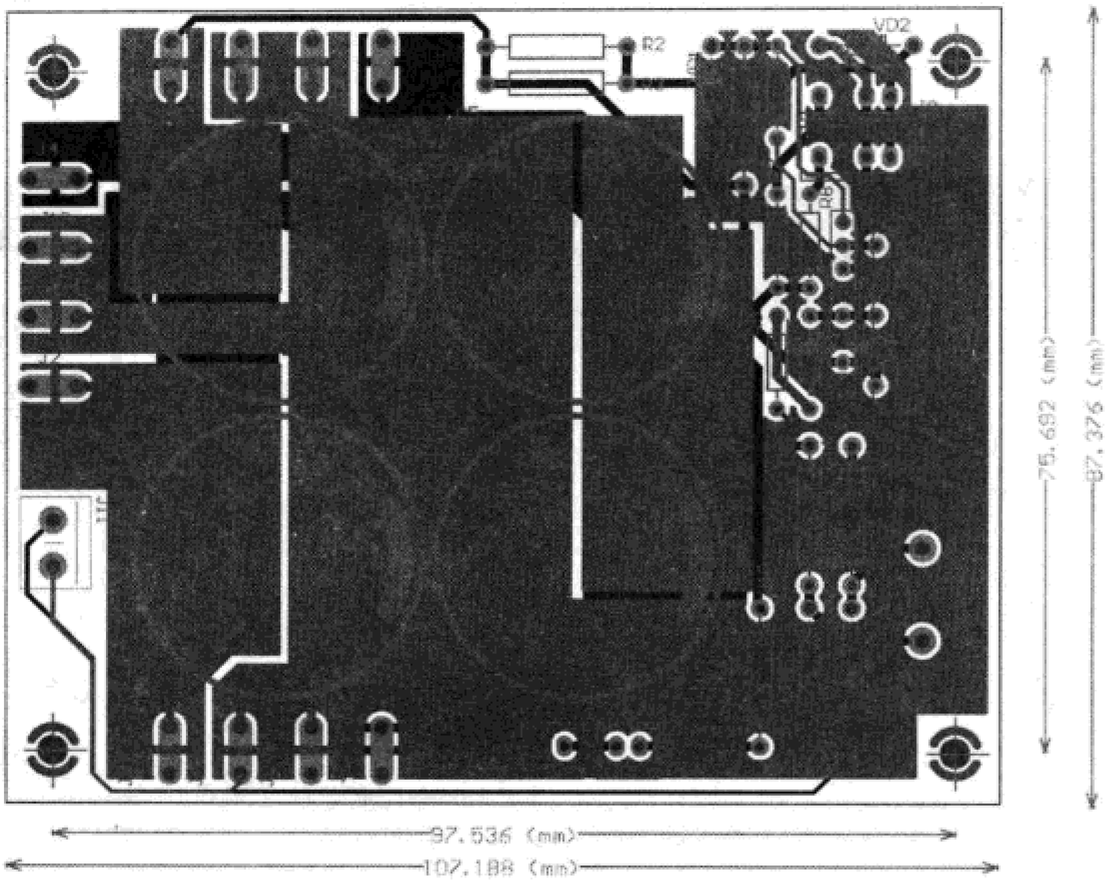


主板电路的PCB

（3）核心主板的电阻都采用美国DALE军规RN55系列电阻，关键部位电阻采用英国Welwyn韦尔文RC55高精度电阻，大功率输出电阻为无感型的，电容全部使用nichicon KG和KZ系列，保持左右声道一致性。

（4）核心三极管采用音响专用三极管2240、970，中功率管采用安森美高品质晶体管MJE15031、MJE15030，输出管采用安森美MJL3281、MJL1302并进行配对测试。

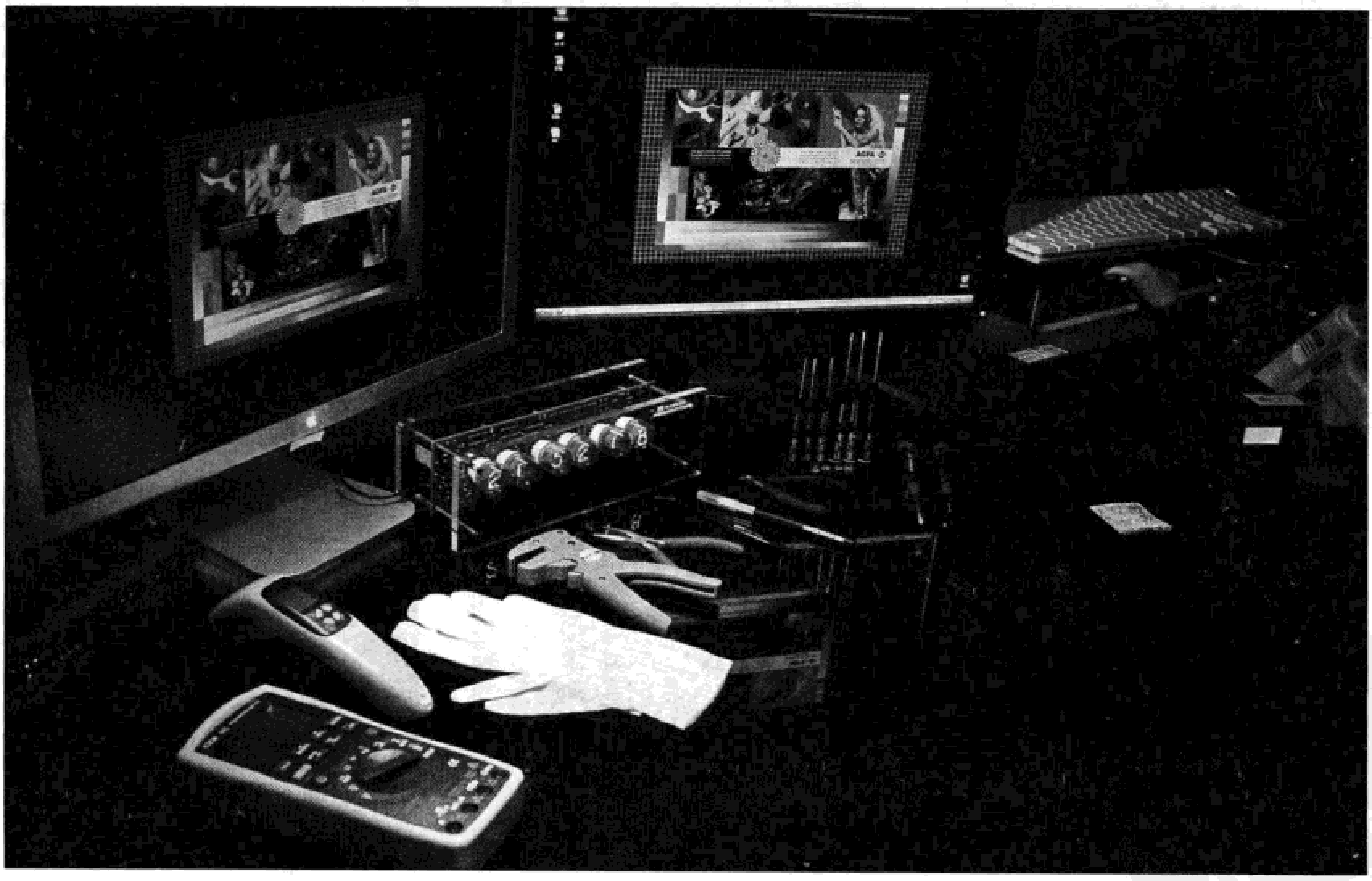
（5）变压器采用日升A级硅片416W变压器。



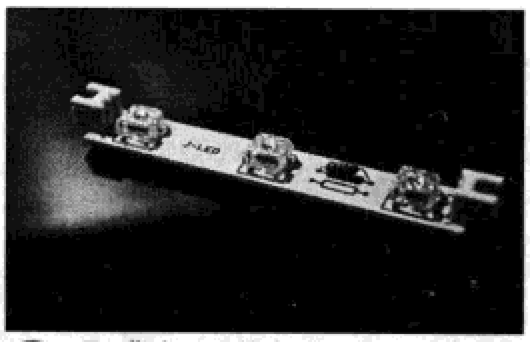
电源电路的PCB

制作现场直播

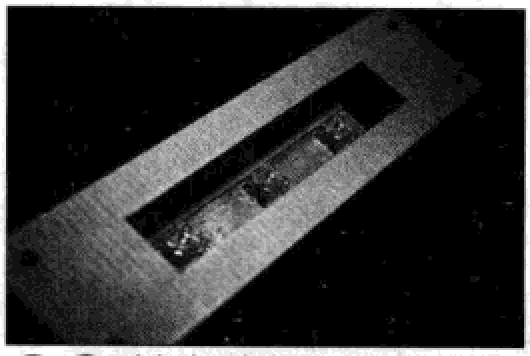
子曰：工欲善其事，必先利其器。就是说一个做手工或工艺的人，要想把工作完成，做得完善，应该先把工具准备好，所以我先上个工具的全家福。



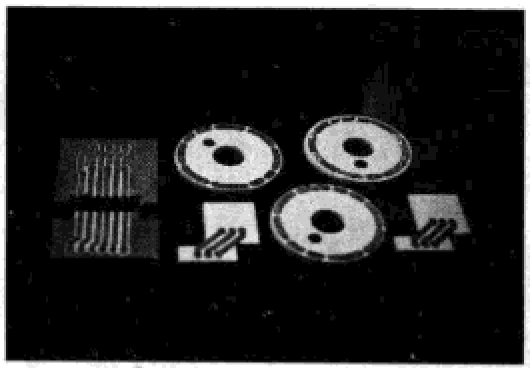
由于所需要的元器件众多，因此大型元件盒便成了这些元器件的暂居地。



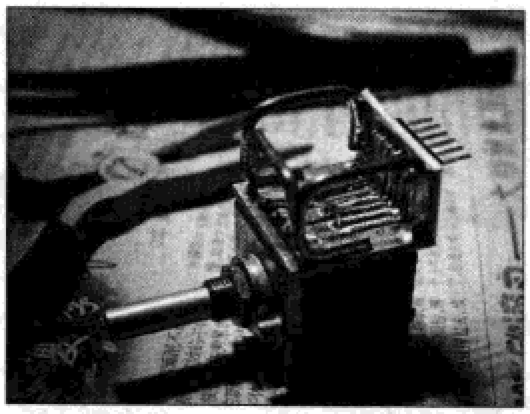
01 背光LED的安装：这个是随机带的LED背光板。



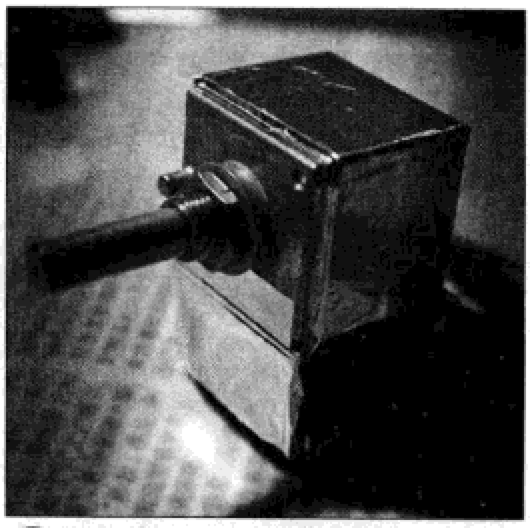
02 先把电阻拆焊下，装到其背部，再找了点铝箔胶带，裁剪成与PCB一样宽（14mm），贴在背面的LED空隙上。如果还有点剩余的铝箔胶带，再贴在背面电阻上，其功能是便于散热，要注意裁剪宽度，别把电阻短路了。然后加电压测试，一切正常后装回去，最后用铝片加工一个LED灯罩，把背光组件安放进去。



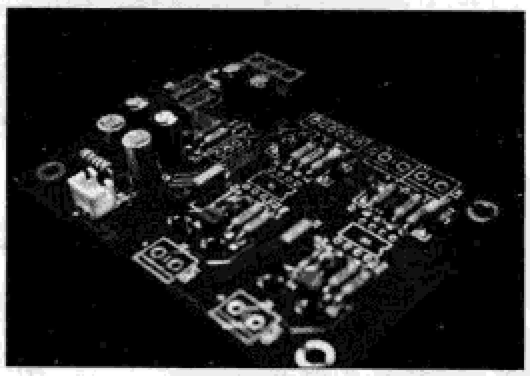
03 音量电位器部分的组装：先用雕刻机制作一套音量PCB转接板与音量背光PCB。



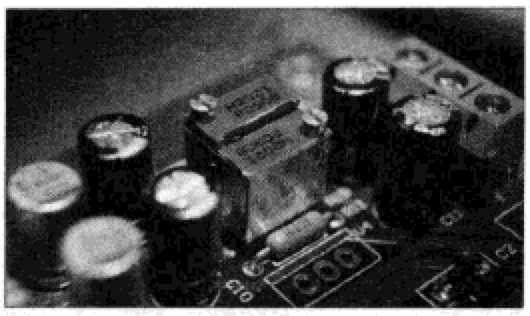
04 ALPS 27型电位器焊在转换板上后，用纯铜丝构建一个框架。



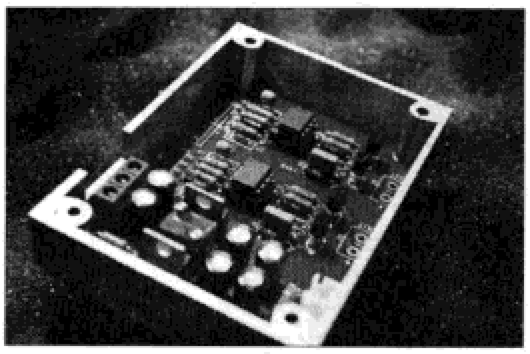
05 然后用铜箔纸包裹起来，这就是屏蔽电位器模组。



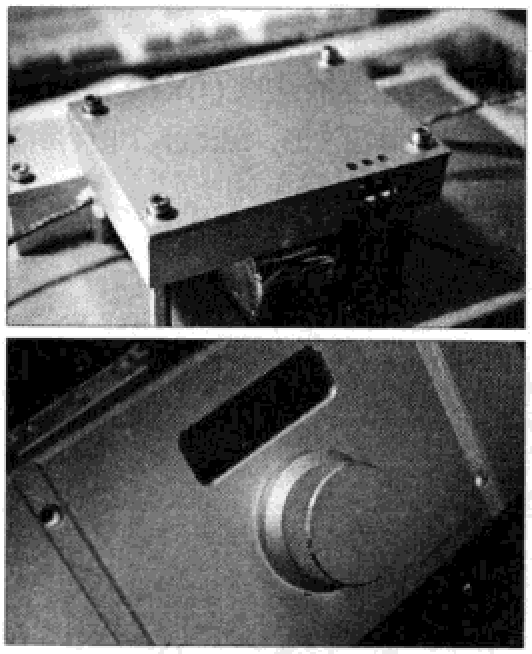
06 接下来就是前级部分的安装，焊接部分不作详解了，完成后的电路板如上图所示。



07 精密电压调整部分用铜箔包裹，以减少外界对其影响。

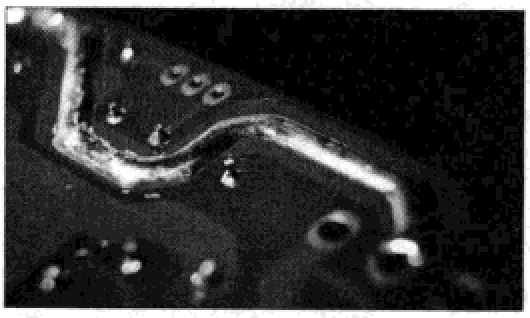


08 然后装上为其定制的屏蔽盒。

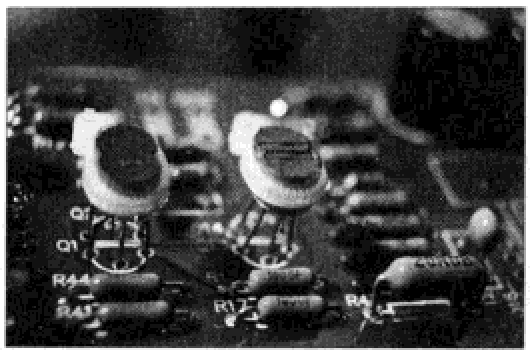


09 最后把背光模组、音量模组、前级模组在前面板上进行总装合成。

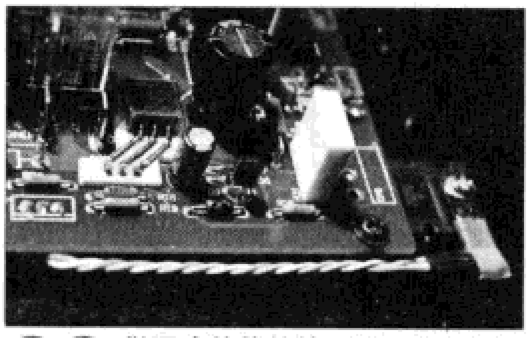
功率放大部分的安装与调试



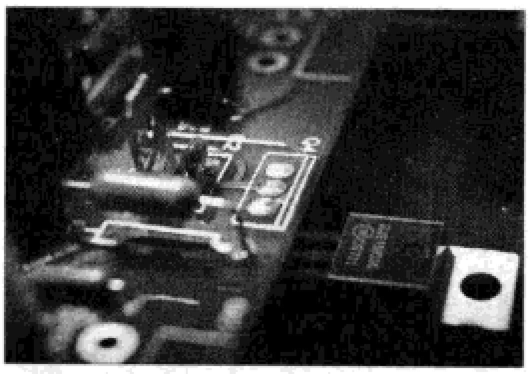
01 在功率放大的PCB板上，在一些大电流经过的线路上最好要用厚锡覆盖上去。



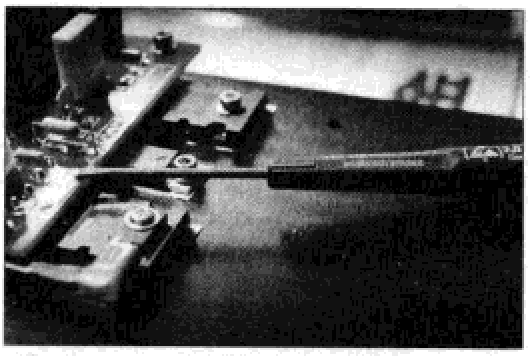
02 由于工作时候里面温度较高，所以必须双面焊接，以保证可靠性与稳定性，三极管要面对面紧贴，以保证温漂的一致性。



03 做温度补偿的管子要用绞线焊接后，再用热缩管封装，外面用高温胶带缠绕后再连接到PCB上。

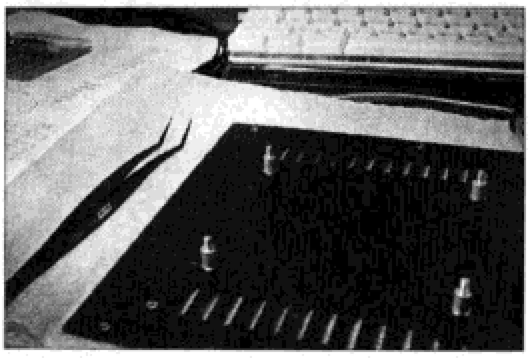


04 推动管由于因较短，不能露出PCB，所以在反面焊接，正面用焊锡封住PCB上的引脚洞口。



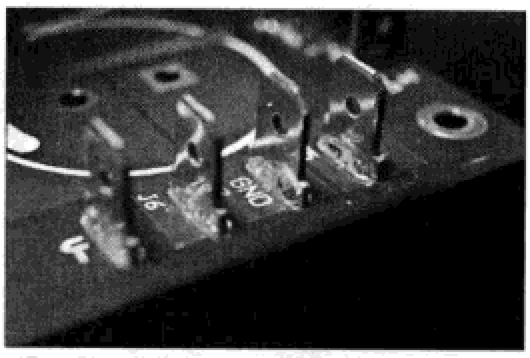
05 确保电路板安装无误后，可以装上4个末级功率管进行调试，调试的螺丝刀建议套上热缩套管，只露出头上一小截，以免调试的时候碰到其他元器件引起短路。

总装



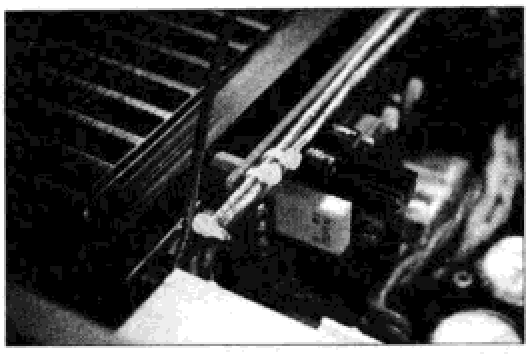
01 最后，还有个电源模组要进行组装，我先在底板上固定4个铜柱，并套上热缩套管，防止金属异物掉落其中引起短路，要知道电源短路是很恐怖的事情！

02 变压器的绕组要进行分类合并。

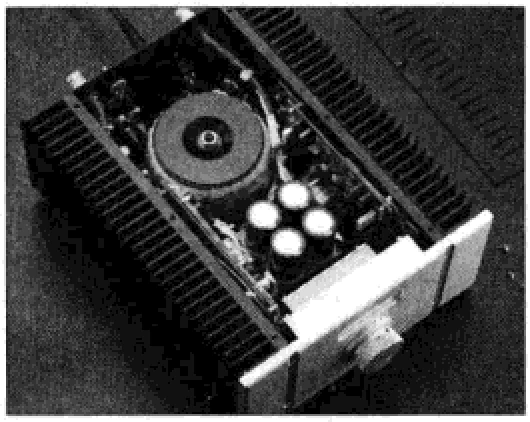


03 电源板上的电源插片，一定要上下左右双面焊接，以供大电流的需要。

04 最后电源板的完成效果。



05 至此，功放的所有模组已安装完毕，进行总装。总装完成后，便是理线，所有理线中，信号线尤为重要，我把两条RCA输入信号线与前级至后级的信号线都贴着两边走，以最大化减少干扰，并用螺丝垫片固定起来，然后再用尼龙带扎紧。



06 到这里，一台Hi-Fi甲类功率放大器便诞生了。

测试

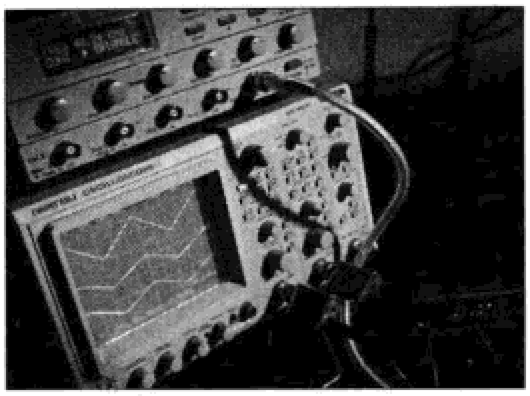
在经过连续120小时煲机与断续煲机300小时（煲机12小时、关机10小时，如此循环）后，进行如下测试。

1. 电压和电流（室温15℃）

开机后左、右声道的中点电位在-3.5mV左右（偏差在0.2mV左右），静态电流在1.04A左右（偏差在1.4mA）。半小时左右进入状态，左、右声道中点电位保持在±1.5mV左右，静态电流保持在1.17A左右，静态电流误差在±2mA左右。左右声道散热片的温度在37℃左右。

2. 噪声

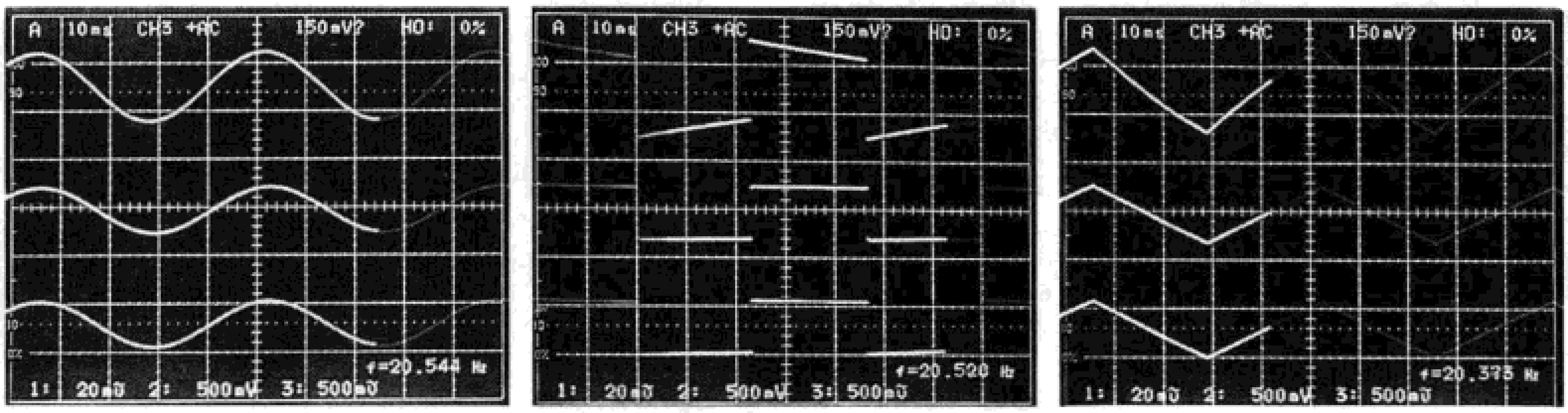
音量关最小，RCA输入不接设备，测试音箱（惠威D6.5套件书架箱，也是DIY的），灵敏度为87dB，贴近扬声器也听不到一点噪声，音量开到最大也是如此。



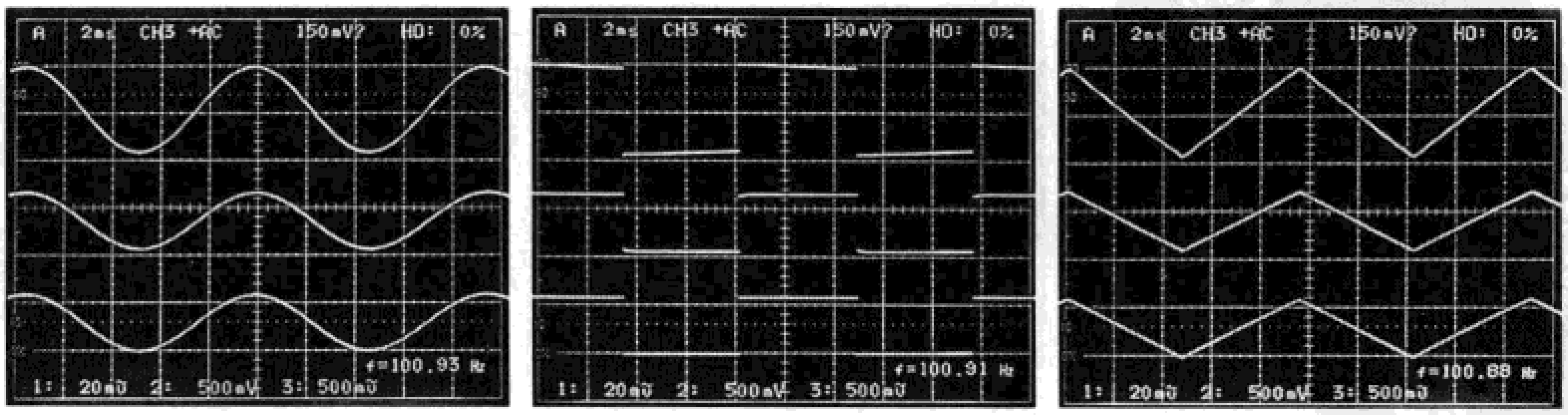
3. 波形

测试仪器有：中国台湾地区产的函数信号发生器（上图中上面的是）、日本原装岩琦三通道100M示波器（上图中下面的是）。负载用军规DALE 8.2Ω/ 10W电阻。

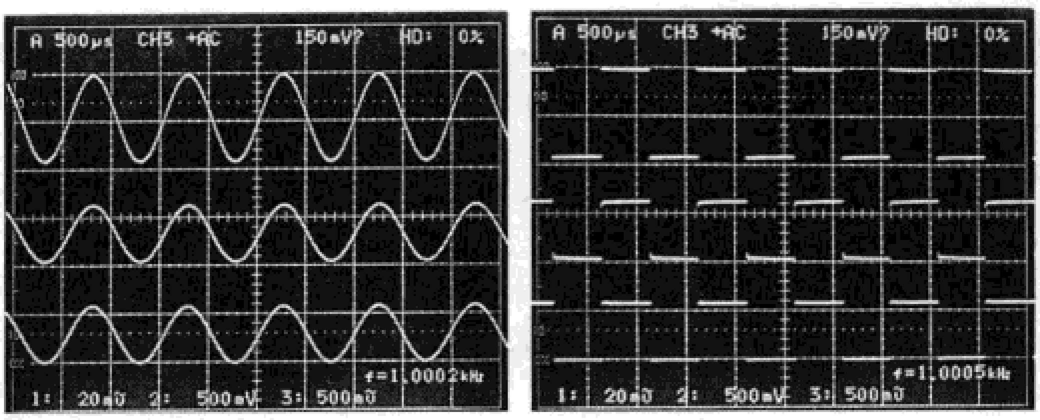
下面是波形图，在示波器的屏幕上显示有3个测试波形，第1行的是信号输入波形（1:1 探头），第2行是前级输出波形（1:10 探头），第3行的是负载电阻上的波形（1:10 探头），也就是功放输出波形，测试时，电位器打在10点位置。



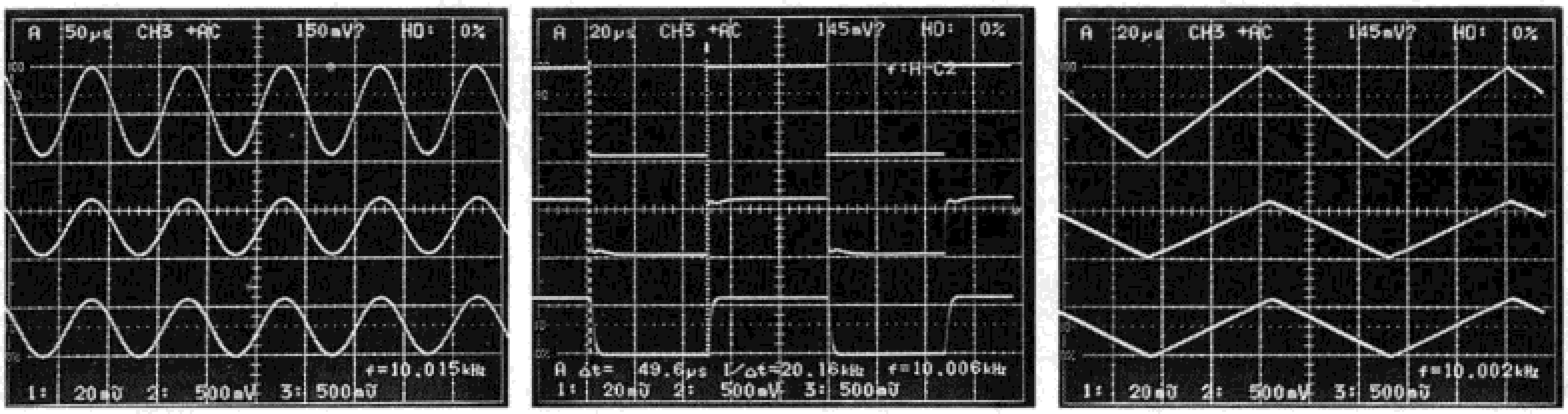
20Hz的测试波形



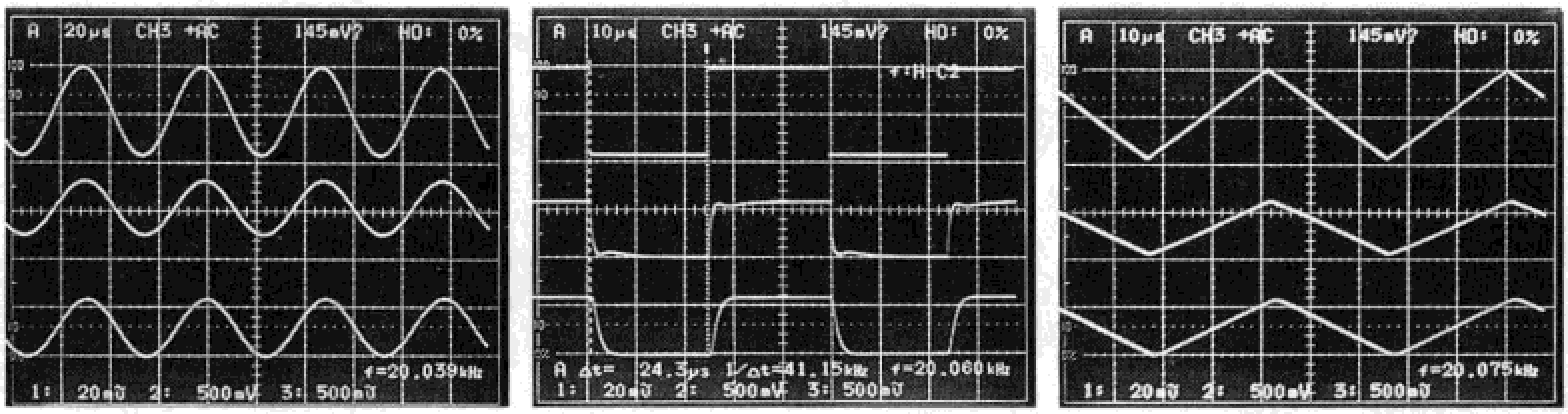
100Hz的测试波形



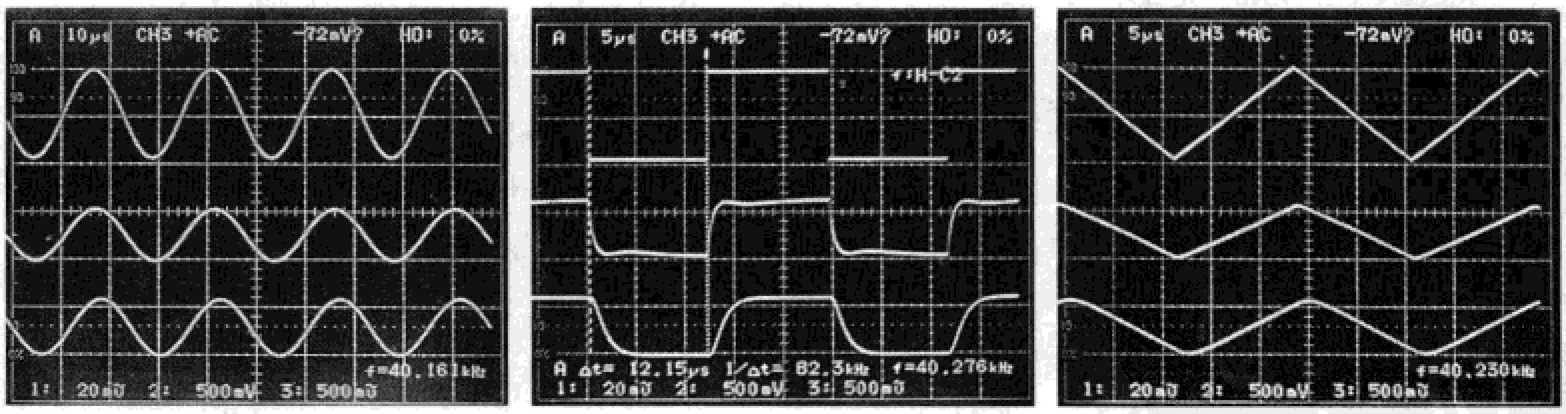
1kHz的测试波形



10kHz的测试波形



20kHz的测试波形



40kHz的波形

主观听感

用惠威的书架箱，听江智民的《逝去的诺言》，在 12 点钟位置前，高、中、低频度均不错，音量再上去，中、高频保持不错，低频开始下潜不足，力度也有些不足，但听感上还是很不错。总体来说，这台机器声音比较平衡，没有非常突出的部分，很耐听，人声很甜，现在是冬季，估计夏天会更好一些吧。要说缺点，就是电源变压器有轻微 50Hz 声音，不过不是夜深人静听不出来。

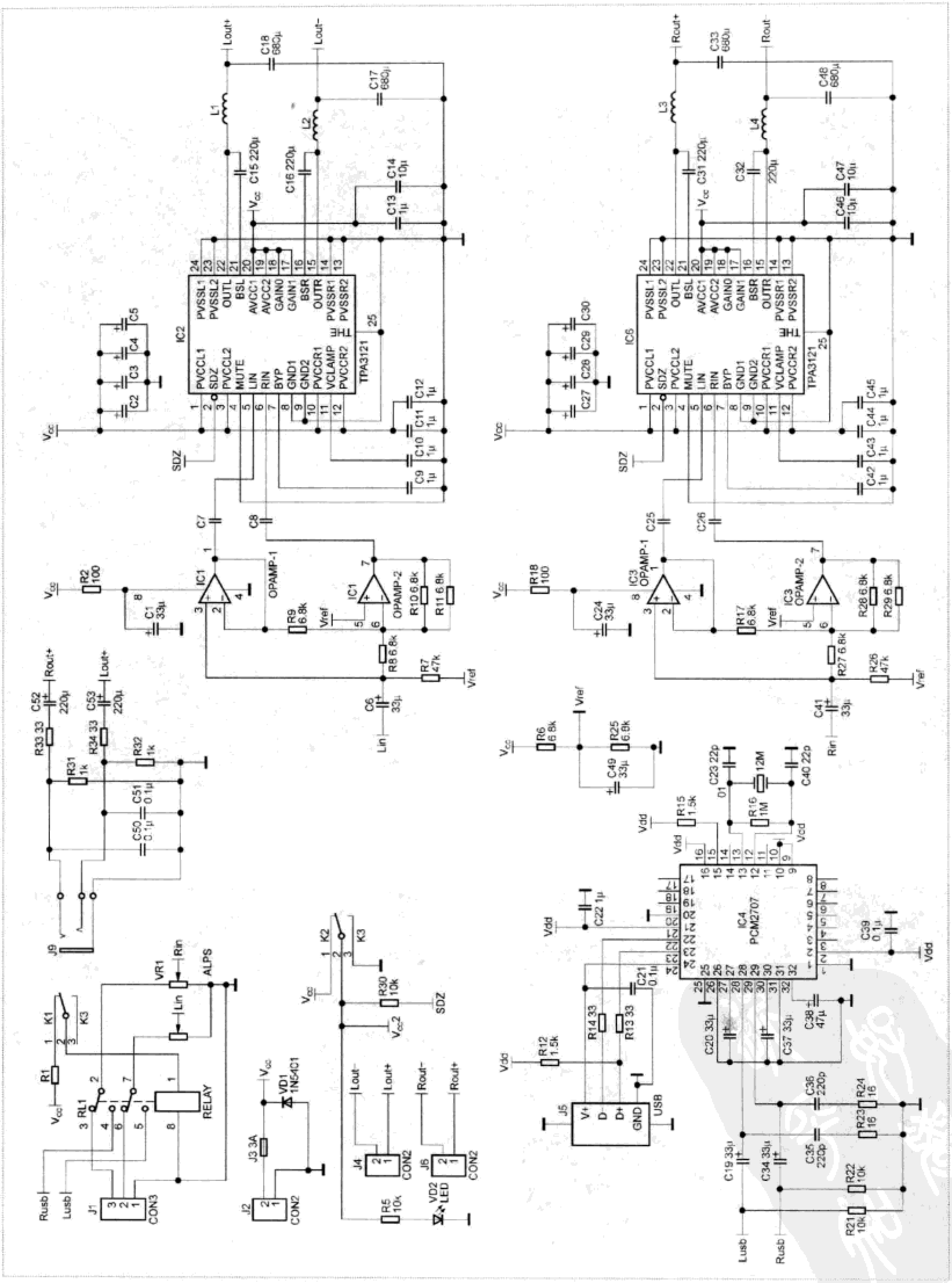
◎aeon

精美高效的D类功放套件——MINI USB AMP

设计者感言：随着电子技术和电子工艺的发展，D 类功放的性能有了质的飞跃，已经得到越来越多的人认可。D 类功放最大的特点就是高效、节能，如果能保证很高的 Hi-Fi 指标，那么它将是音响爱好者梦寐以求的完美功放。我们的理想是尽善尽美，大众的认可才是真正的经典。我们一直努力着！MINI USB AMP 是我们向广大音响爱好者隆重推出的，希望能给大家带来完美的享受。

套件特点

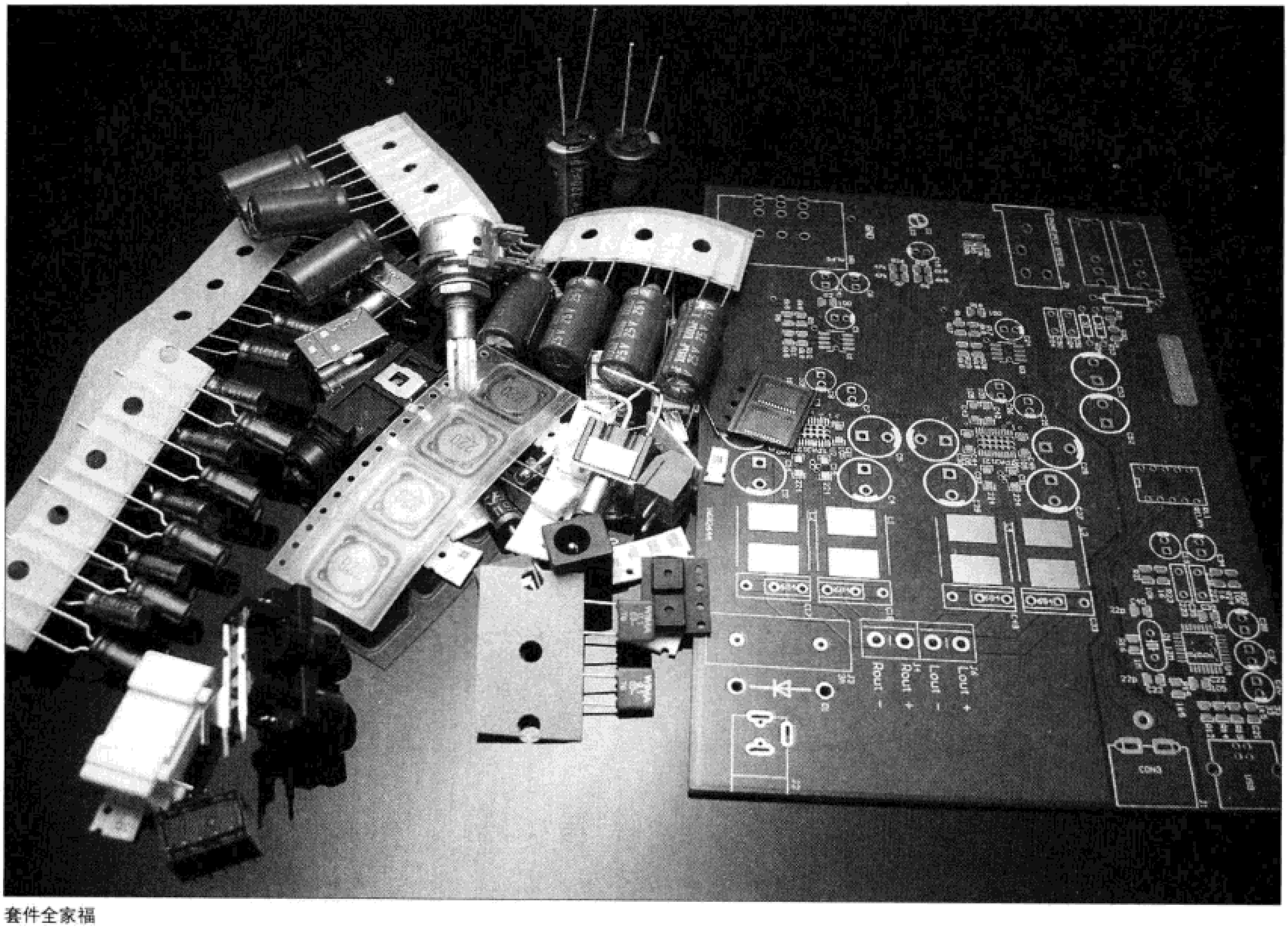
MINI USB AMP的设计定位为多媒体音响功放系统，兼顾卧室音响系统功能，因为要兼顾电脑系统，所以特别设计了USB输入接口。经过对IC的筛选和以往实际的使用效果，我们确定本套系统的核心IC全部为BB公司生产的PCM2707和TPA3121。PCM2707为USB输入和解码芯片，能直接输出音频信号。这款芯片在HIFIDIY众多成熟设计中大量使用,性能稳定可靠和指标优秀。功放的核心IC采用BB公司最新推出的D类放大器功放芯片TPA3121，该芯片的一个重要指标是THD+N为0.04%，一片芯片负责两个声道。为了获得更大的输出功率，我们特别设计成了BTL形式,功率提高了1倍，在此我们给出整个设计的电路图。



MINI USB AMP电路原理图

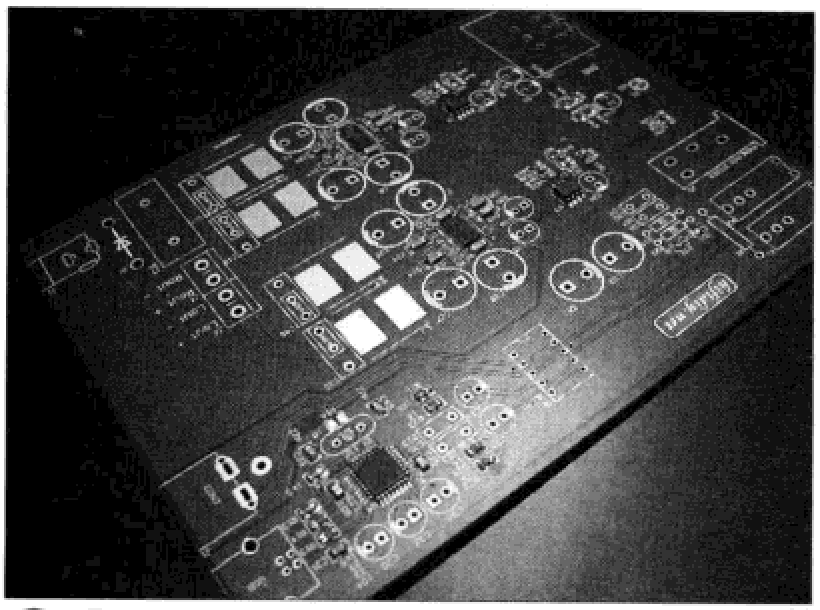
装机实战

只有实践才能提高动手的能力，买到套件的读者可以根据我们的现场“直播”了解装机的流程，当你自己亲自动手焊接时，在装机过程中可以感受到整个设计思路，希望对您有所帮助！

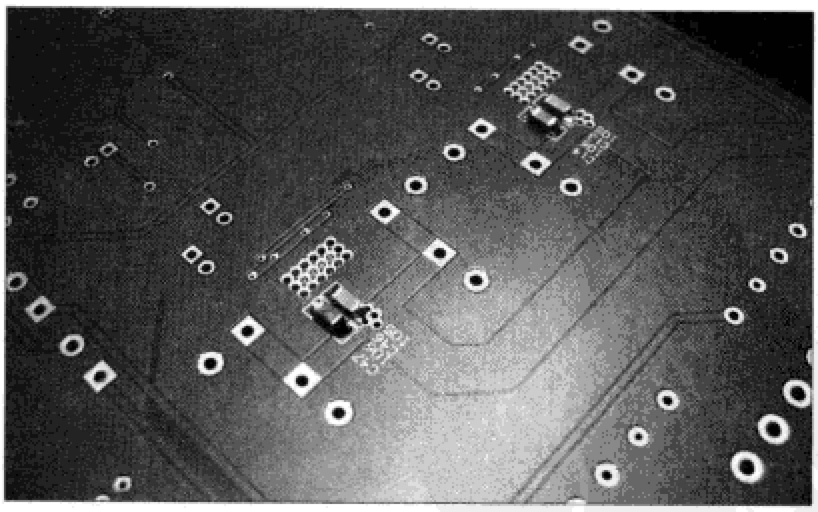


套件全家福

1. 焊接芯片

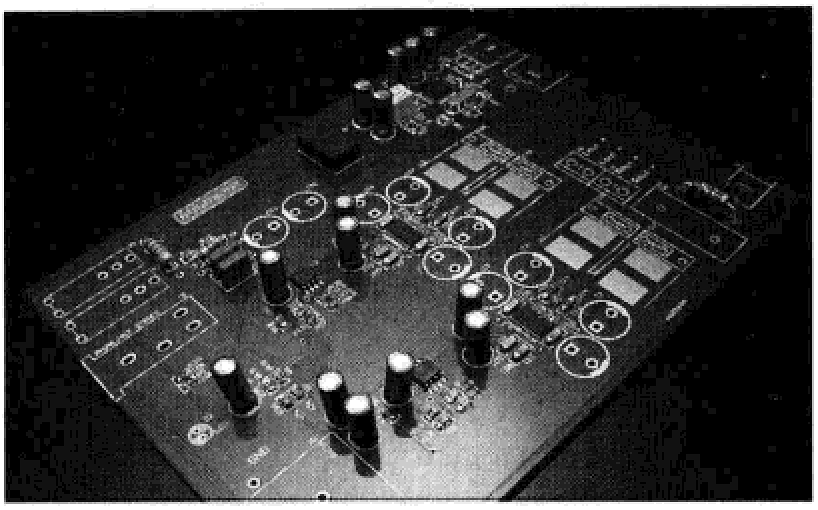


01 本套件有很多贴片，因此焊接的难度很大，请大家在焊接时一定要仔细，注意IC在电路板上的位置，即IC的方向!

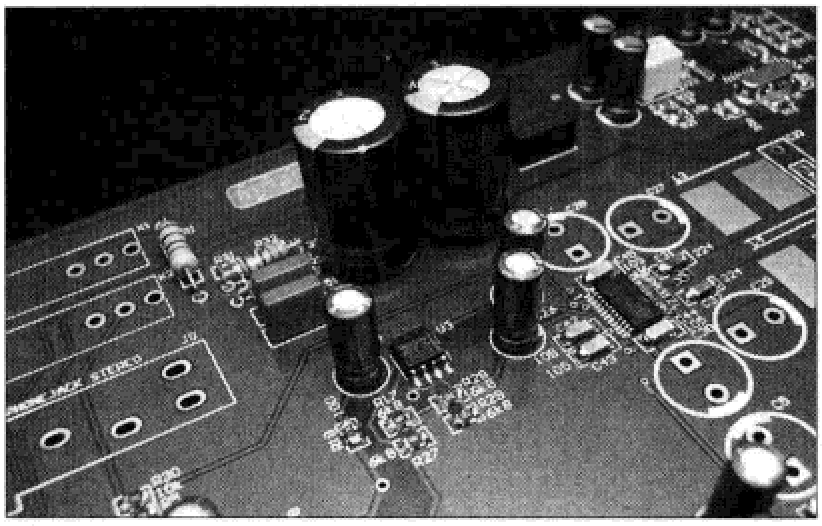


02 特别说明：因为3121的背部有金属部分，我们设计了过渡孔，只有一条正对准3121的下面，所以大家必须在PCB的背面该处用焊丝焊接，焊接的时候，把烙铁在焊点的时间可适当放长点，起码要高于8s。

2. 焊接输出电容

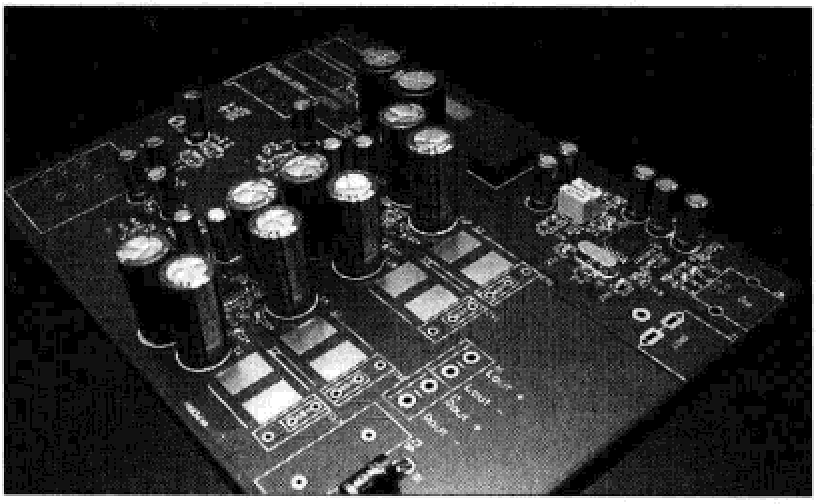


01 这是焊接好输出电容的板子。



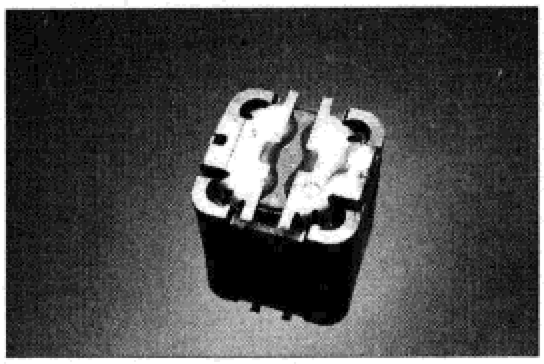
02 在这款套件中，耳放的输出电容我们特别升级使用了KZ25V220μF电容，此电容的体积较大，超过我们在PCB上设计的电容直径，您焊接耳放的输出电容时，若电容没放正，可用手扶正。

3. 焊接8个大电容



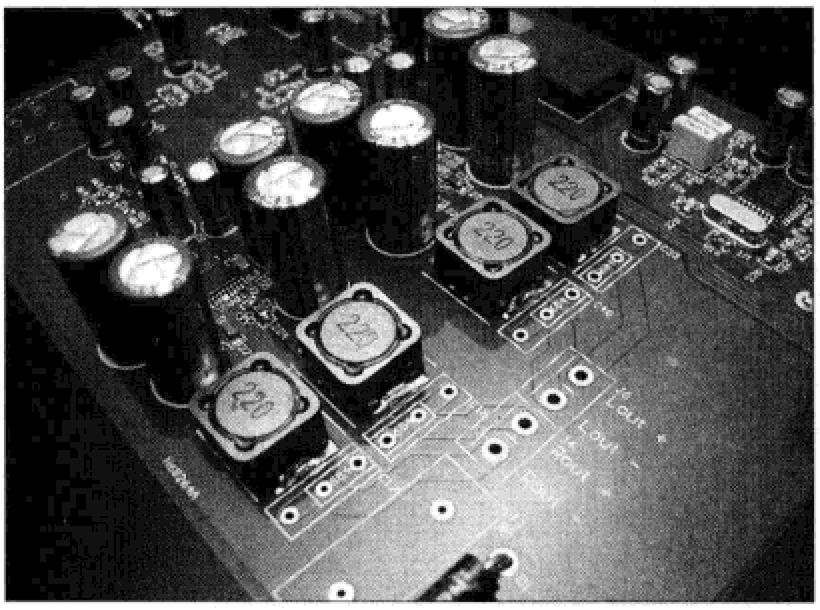
在焊接时一定要注意这8个电容的正、负极，请大家一定以上图为主，因为如果电容的极性安装错误，此电容会爆炸的，请大家切记！切记!

4. 焊接电感

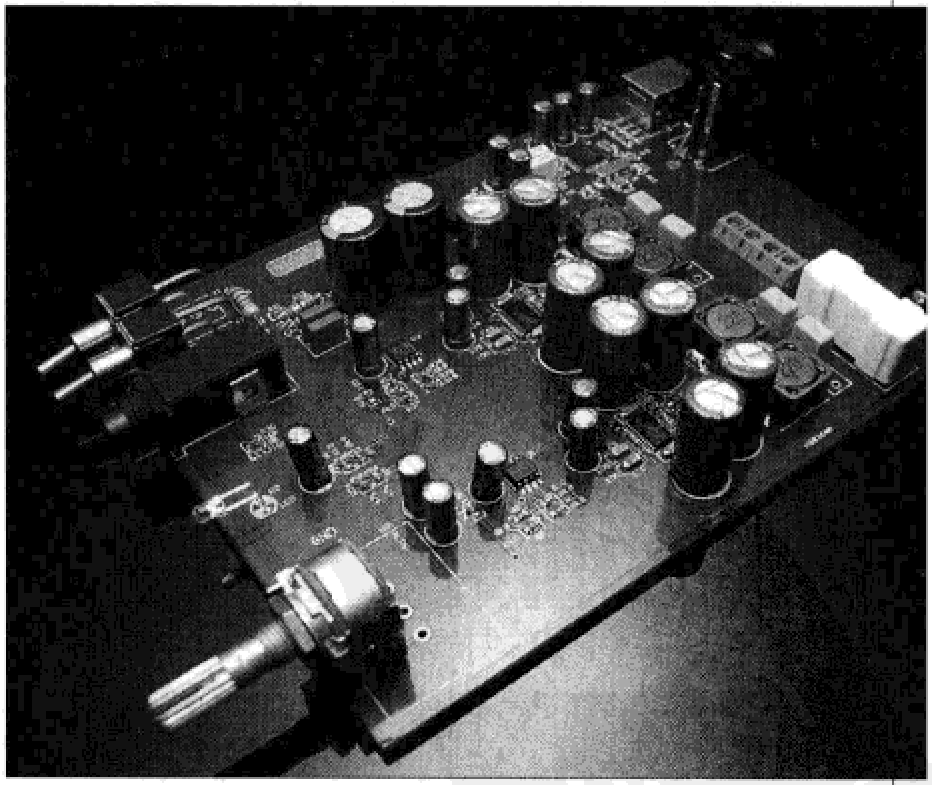


01

焊接前先把电感上锡，然后贴上PCB，再用烙铁加热焊接。

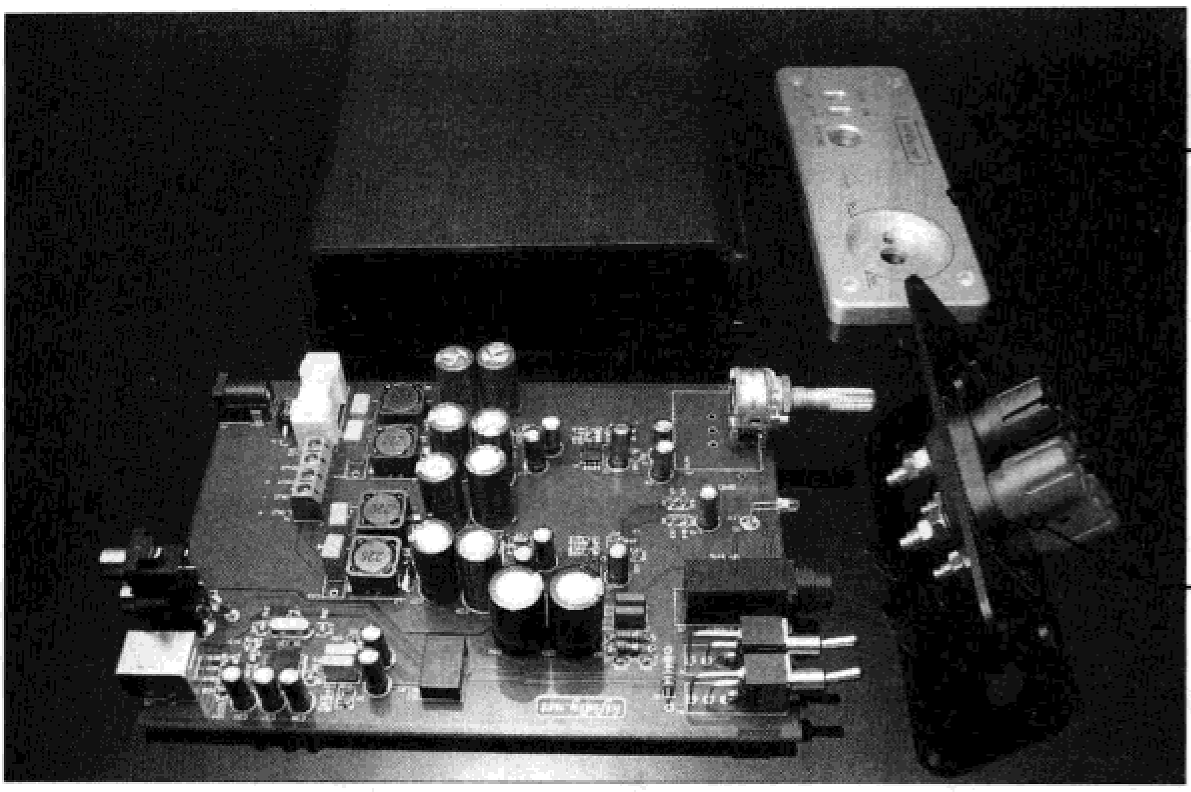


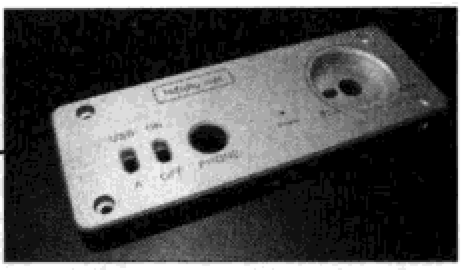
02 因为电感不好焊接，也可以先焊接电感再焊接8个大电容，因为此电感是输出电感，必须焊接牢靠，否则会导致输出无声!



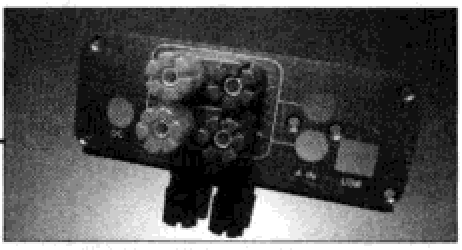
03 全部焊接好的电路板。

5. 安装整机

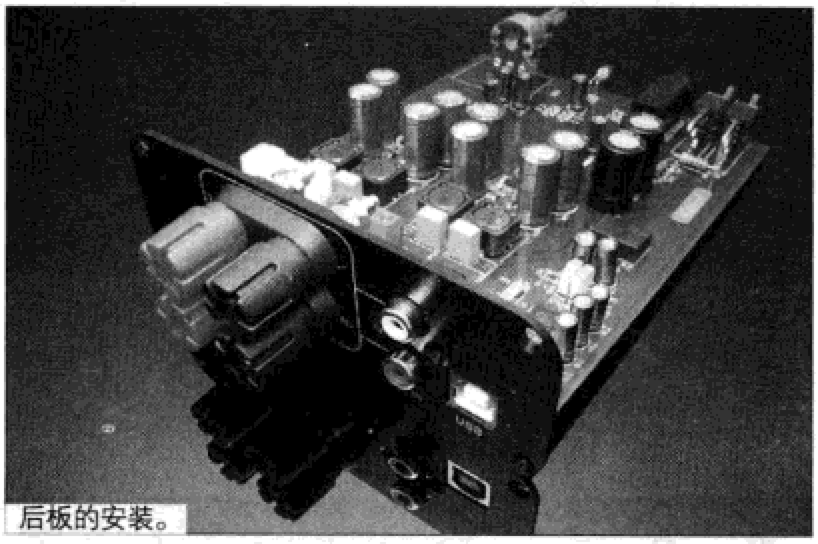




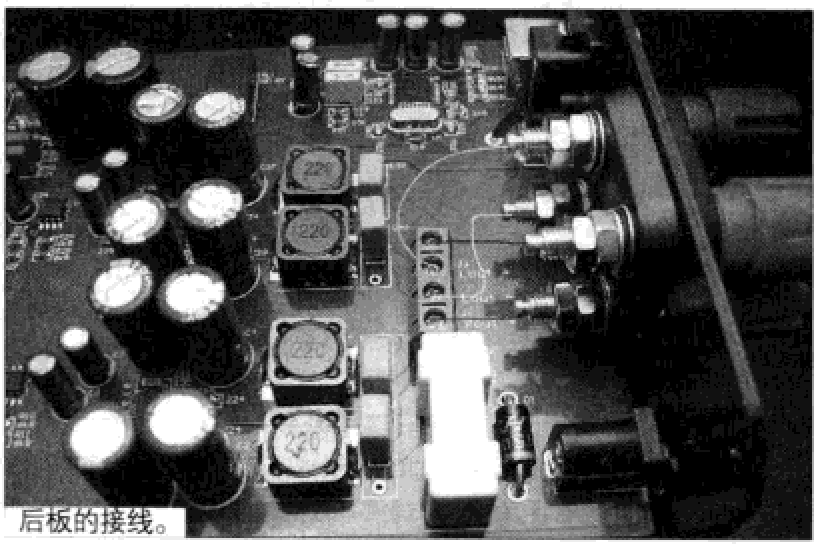
面板的LED孔我们特别设计成阶梯形的，这样发出的灯光将不刺眼。



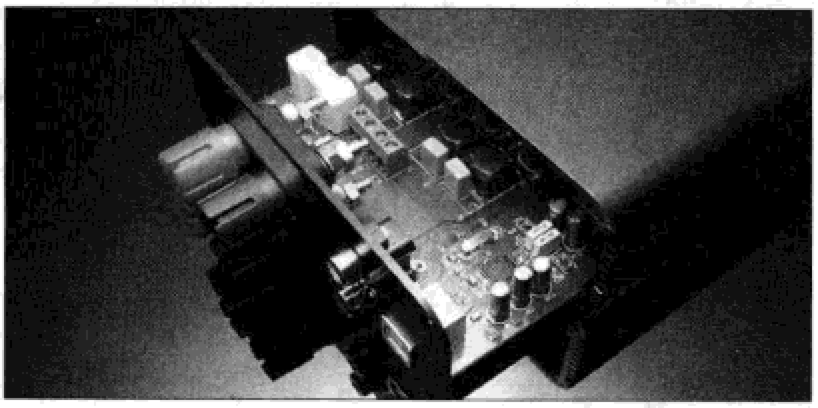
音箱的输出接线柱和后板的安装比较简单，容易完成。



后板的安装。



后板的接线。



此时接通电源就可以调试了，正常情况LED灯会亮，然后测量音箱输出端子，此处应该为0V。检查和测试电路板都正常后，就开始安装机壳了。安装壳体非常简单，您可以先从前面开始安装，也可以先从后面开始安装。

面板第一个开关是USB和模拟输入切换，第二个开关是电源开关。

套件销售

套件价格：290元/套+15元邮费。

请注明AMP套件和汇款人电话

购买方式：1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座，《无线电》杂志社收，邮编：100061

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/

◎毛冬

打磨南欣2.1电脑音箱

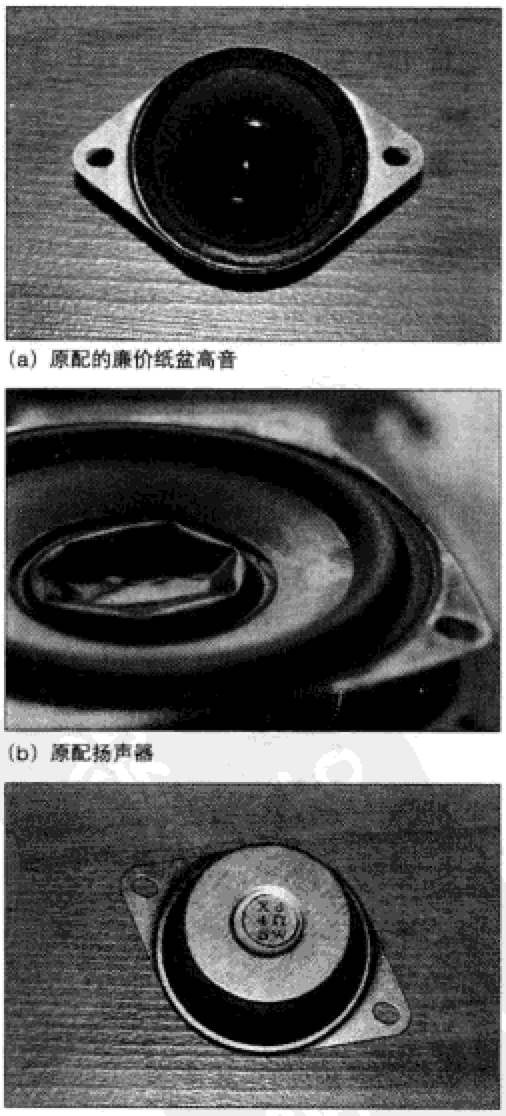
这套南欣2.1购于2002年，在精品电脑音箱还比较匮乏的年代，偶然遇到的这套南欣2.1，以它轻盈脱俗的音质让我眼前一亮，立马购下，使用至今。

年初，主音箱中低频单元出现音圈间歇性接触不良故障，主要表现为声音时有时无，若拿手指敲打一下纸盆，碰巧又能出声。后购入一对口径一致、功率更大、磁体更大、灵敏度更高、阻尼顺性更好的扬声器，换之，但因为没有花时间好好调校，音质始终差强人意。

近日整理房间，翻出一对以前朋友送的 SONY 全封闭纸盆高音扬声器，观其造型及安装耳孔，推测应该是 20 世纪 90 年代红极一时的进口“组合音响”上拆下的扬声器，那么指标应该不低，至少应该比我目前的廉价纸盆高音高出很多倍。我为何弃之于角落不用，以至于趋于遗忘，真是罪过啊！于是，我清理掉上面的灰尘，开始了一番再造南欣 2.1 主音箱的愉快之旅，力求让这套不卑不吭的电脑音箱走进 Hi-Fi 音箱之列。打磨的关键环节主要还是分频器的重新设计，完全按照调试高保真书架箱的理念来考虑设计。

图 1 所示的是原装配箱的高音单元，这是常见的纸盆高音，非常简易和廉价；图 2 所示的是朋友送的 SONY 高音单元，也是纸盆的，但是后来试音才知道这个纸盆音质有多爽。呵呵！

图3所示的是新旧低频单元的直观写照。面临的第一个问题是：高音单元开口尺寸比原装扬声器更大，如何才能装进狭小的主箱体？开始考虑过“高音外置式”方案，后来想想，要落实到具体细节上将会很复杂，还是放弃了；再用游标卡尺仔细丈量内外口径差距究竟有多大，终于发现挡住高音单元不能入内的关键点在于高音单元的“正、负焊片”太张扬了，最后在箱体高音开孔边缘用锉刀挫掉两个空缺，高音单元终于可以大部分放入箱体了。但是还有部分因为口径超标放不进去，我想干脆就别再扩孔了，就采用让高音单元超前低音单元



(a) 原配的廉价纸盆高音

(b) 原配扬声器

(c) 原配的廉价纸盆高音

图1

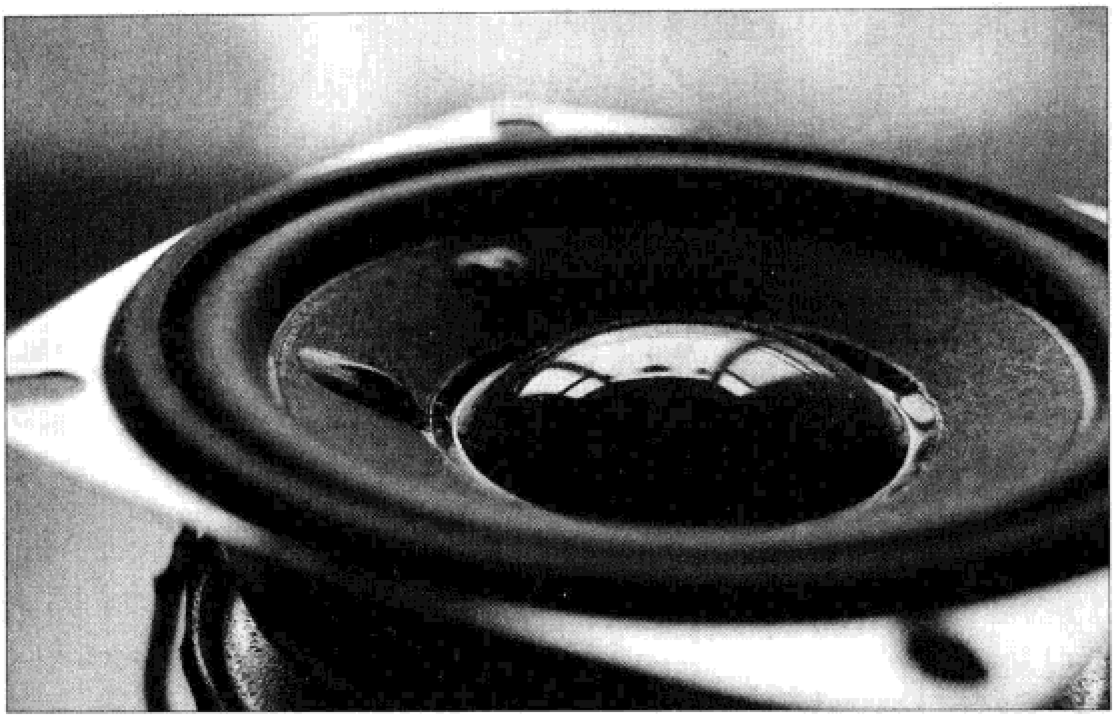
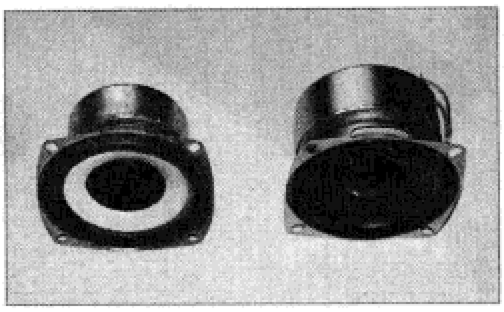


图2 新扬声器


(a) 左边是原配扬声器，右边是新买扬声器

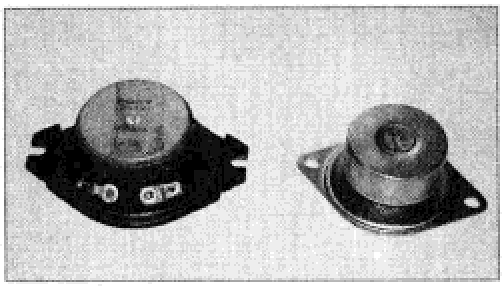

(b) 左边是朋友送的索尼纸盆高音，右边是原配纸盆高音

图3

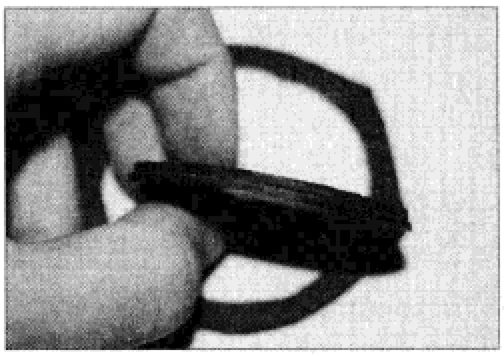
的安装方式吧。在超前量不太大的情况下，对音质的相位影响也不会太大。密封措施我采用汽车内胎胶，一层太薄，于是我就两层中间用双面胶粘在一起再剪，这样的厚度就非常合适了，见图4。

安装非常顺利，如图5所示，图6和图7所示的是打磨后的音箱与原音箱的合影。左边是已经安装好的一只，右边是“原装高音+面罩”的情形！最后试音，发现面罩其实不利于高音的穿透性表现。因为开口面积太小，加上新换的SONY高音纸盆口径更大，需要更大的无遮挡的展示面积，所以，最后决定干脆不上面罩了。

图5

个人感觉高音单元突出几毫米，整个音箱会更加突出以高频为重点表现风格，但几毫米终究是要微调的，在某些频段可能会有比较明显的表现，对整体影响不会太大。而高频单元与中低频单元物理尺寸更加靠近，就更加接近“点声源”这一理想指标。这是意外的收获啊！

该电脑音箱为有源2.1声道，功放每声道采用一片TDA2030，也就是一片TDA2030推动一个本文介绍的小音箱。低音炮由2片TDA2030桥接推动一个单开口倒向双腔式内置5英寸扬声器的音箱。3个箱体由一个电位器控制总音量，低音炮的低频量感由另一个电位器独立控制。环形变压器采用的是“恒达”牌的，观体积，估计功率在80W左右，难怪平时总感觉有失真，原来是因为功率储备不够造成的。功放板的工艺不错、布线比较合理，电源


(a) 密封垫是两层才够厚度，中间用双面胶粘合

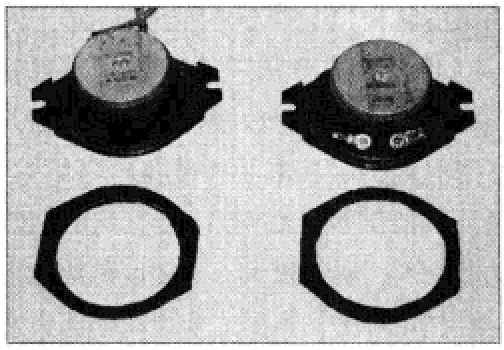

(b) 度身定做的橡胶密封垫

图4

部分也不会成为“瓶颈”，因而此番打磨问题的焦点主要还是集中在主音箱的分频器设计上，一是要让高频单元与低频单元和谐共处；二是要让主音箱与低音炮音色尽量靠近。因为主音箱的高音单元和低音单元全换成不认识的新朋友——低音炮了。

原装音箱分频器简单到了极点，就是两颗细小（如豌豆）的4.7μF电解电容串联焊接在高频扬声器上，厂

家的意图是想让电容量取值为2.35μF左右，同时达到同极相连、抵消极性的廉价目的。我取下两个音箱内的4只4.7μF电解电容，依葫芦画瓢找出两颗宏明MKP 2.2μF电容，各自串进两个音箱的高频通道。开声试听，立刻感到中、高频灵敏度太高，声音太过亮丽、太吵。分析其原因，就是分频点不正确（分频电容采用2.2μF也分得过高）、高频单元灵敏度过高（高了2dB以上）。打磨初衷，对于这样的小音箱，先不去考虑设计更加复杂的二阶12dB/oct分频电路，权且将高频单元的6dB/oct做好，应该就会有不错的收获。本想将分频点设在4000Hz，使用4.9μF的电容，无奈手头一时没有5μF左右的电容，但有4只10μF的惠威杜希拆机电容，于是就先使用一只10μF，尝试将分频点设在2000Hz处。高频灵敏度衰减电路本身是很简单的计算流程，但偏偏遇上高频单元阻抗是8Ω、低频单元阻抗是6Ω，高、低单元阻抗不一致，这就稍显复杂了。最后通过计算，首次尝试的分频电路设计如图8所示。

图6

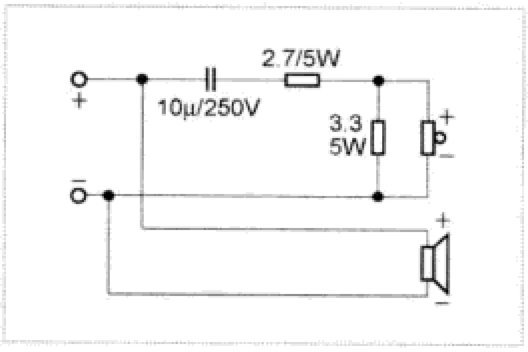


图8

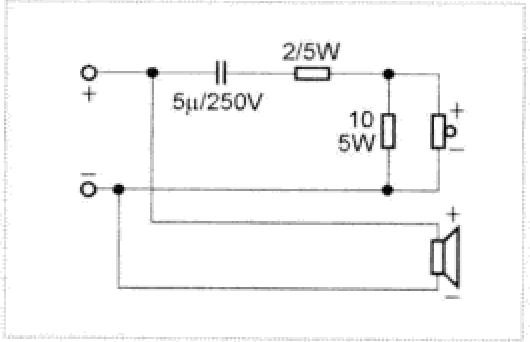


图9

此时试听，与刚才相比，已经全然脱胎换骨了，高频的过度张扬被约束了不少，灵敏度已基本趋于正常，不太刺耳了，但高频应有的亮度与穿透力又似乎稍显欠缺，不过总体感觉已经很不错了，证明之前的改动思路是正确的。

接下来又经过好几次拆拆装装，不断地细调衰减电阻值及几种预期电容值，最终分频电路如图9所示。

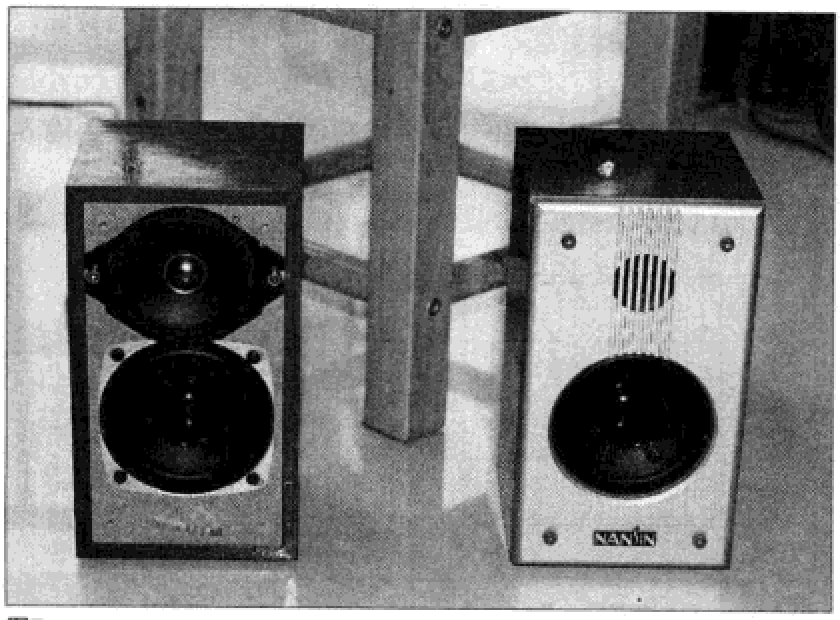


图7

最后试听，该款南欣2.1所表现出来的声音，真让我震撼，这哪里是一对只有3英寸的2.1小扬声器箱发出来的声音啊，简直和大扬声器箱+独立功放出来的声音没什么区别了，完全换了个档次！当然，低音炮对基础气势的烘托是功不可没的。播放《惠威T200A试音碟》第一首DISCO，整个节奏富于弹性，声线紧密，结合度非常好，高低频张驰度控制得非常好，频响均衡度也非常到位，高频经过3.5dB的衰减后非常恰到好处。整个声音听起来刚柔并济、力度非凡、气势宏大，中低频饱满、高频穿透力似可穿透玻璃杯中的水、细节处晶莹细幼，相当耐听。经过长达4个小时的听音洗礼，让我第一次领略到电脑音箱居然还可以焕发这样的青春！

实践证明分频器的正确调校是很重要的，即使再好的扬声器组合，如果没有正确的分频设置，播放出来的声音也会很糟糕。反过来，档次不高的扬声器，只要有了正确的分频设置与补偿，声音完全会出乎你的想象！

音箱基础知识

密闭式音箱的原理和设计

◎曾念民

在很多书籍中，将密闭式音箱的作用简单归纳为消除声短路、利用密闭式箱内空气的弹性帮助扬声器纸盆回中（气垫式密闭箱）。其实密闭式音箱还有一个重要的作用，即限制扬声器冲程——“切”除扬声器无法重放的低频。这个作用被人提及得不多，但这点对于我们设计直径5英寸以下扬声器的密闭式音箱非常重要，对此我们要有足够的认识，今天先介绍密闭式音箱限制扬声器冲程的原理和设计。

密闭式音箱是个将扬声器背面密封的箱体（图1），由于是密闭的箱体，当里面的空气热胀冷缩时，会对扬声器纸盆形成压力，需要在箱体上开个很小的孔，把空气热胀、冷缩的压力施放出来，否则空气压力可能会损坏扬声器。

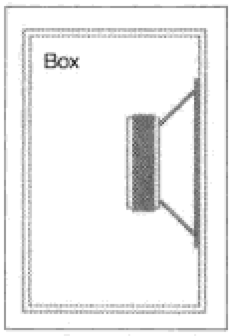


图1

当密闭箱体容积比较小时，密闭箱会限制扬声器的冲程。我们可以用音箱辅助设计软件LSPCAD来模拟一下。

用LSPCAD模拟设计音箱至少要有以下扬声器参数：

扬声器的振动面积S_d、扬声器的冲程、扬声器的谐振频率F_0（在LSPCAD中改为F_s）、阻尼系数*Qts*、电阻尼*Qes*、机械阻尼*Qms*、扬声器等效容积Vas、扬声器直流阻抗Re。

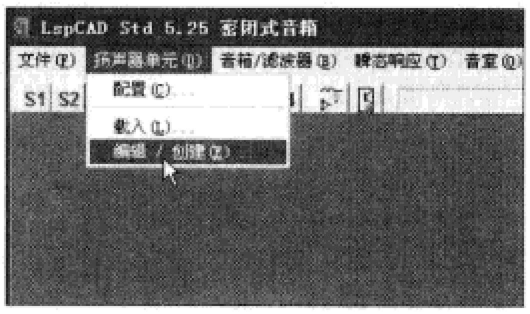


图2

在LSPCAD中创建一个扬声器(图2)。

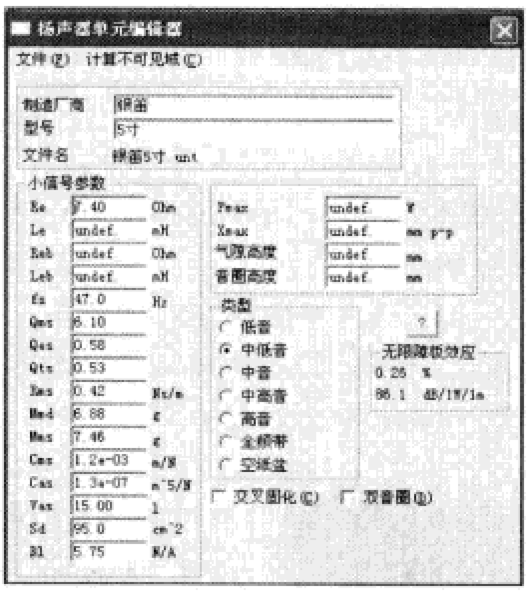


图3

输入扬声器参数*Re*、*Fs*、*Qms*、*Qes*、*Qts*、*Vas*、*Sd*，保存退出(图3)。从今年1期的杂志刊登的文章可知：5英寸扬声器冲程约4mm，中等音量频率下限是55Hz。

音乐中有大量频率在55Hz以下，我们之前懂得频率越低，扬声器冲程越大。而这些低于55Hz的频率进入扬声器后会造成扬声器冲程超出限制，这时的听感是低音软绵无力、失真严重、控制力差，只能调小音量来限制扬声器冲程。

假如我们把这个5英寸扬声器装入一个合适的密闭式音箱中，那些低于55Hz的频率进入扬声器后，密闭式音箱内部的空气会限制扬声器冲程，并切掉低于55Hz的频率（如同高通滤波器），保持扬声器工作在冲程范围内，低音听起来有力度，控制力好。

该扬声器装入80.3L容积的音箱中（图4），*Qts*为0.577（装入音箱后*Qts*只是改称为*Qtc*，实质还是一样）。

输入1W的功率，55Hz扬声器冲程为3.6mm，40Hz扬声器冲程为4.5mm，30Hz扬声器冲程为5.2mm。只要输入

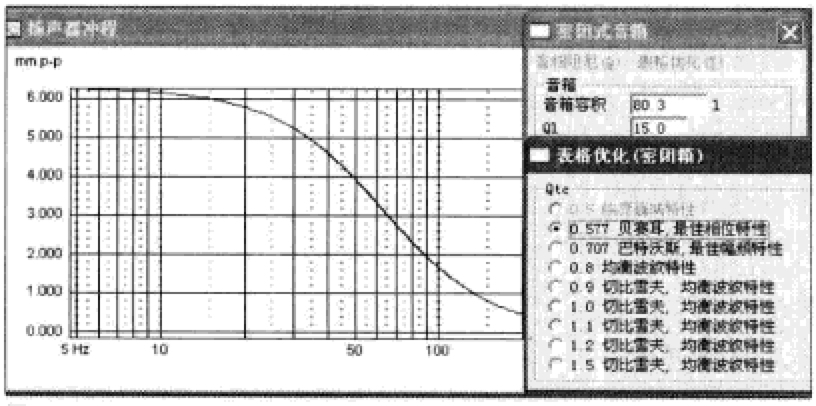


图4

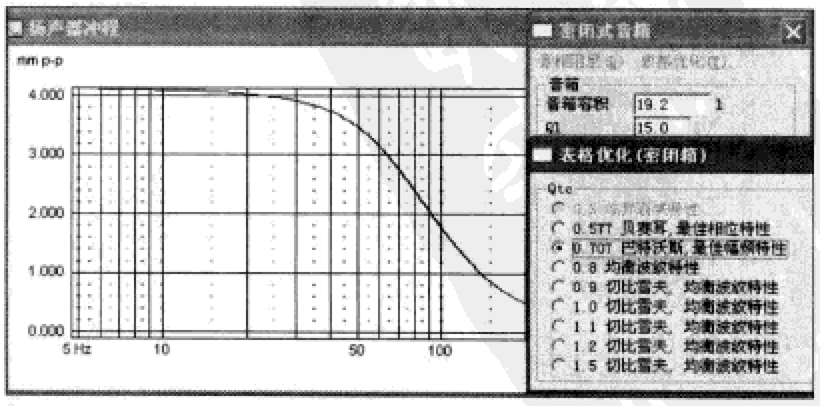


图5

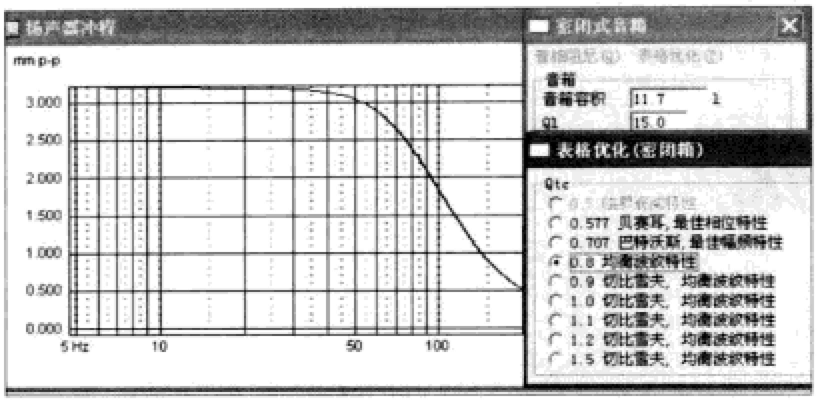


图6

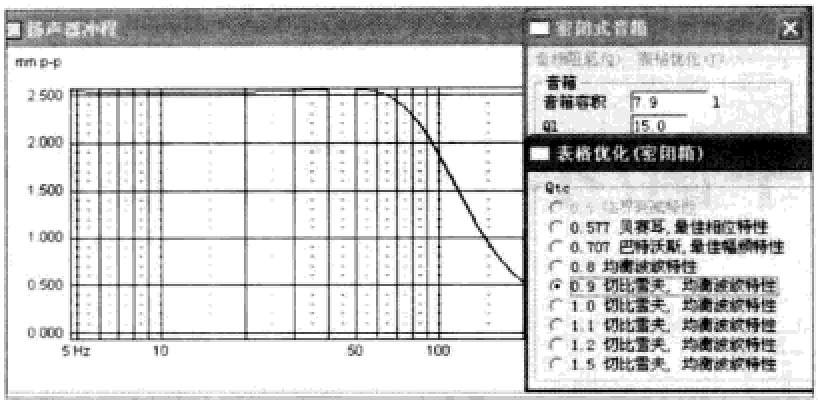


图7

1W、低于40Hz的功率信号进入扬声器后就会严重超出扬声器冲程范围。

当音箱容积缩小为19.2L时（图5），*Q*ts为0.707，30Hz扬声器冲程为3.8mm，40Hz扬声器冲程为3.6mm，55Hz扬声器冲程为3.4mm，扬声器冲程不再随着频率的降低而按比例增加，基本上扬声器冲程被密闭式音箱限制在1W功率、4mm冲程以下，扬声器无法重放的低频信号被密闭式音箱“切”掉。

当音箱容积缩小到11.7L时（图6），*Q*ts为0.8，扬声器冲程被密闭音箱限制在1W功率、3.5mm冲程以下。

当音箱容积缩小到7.9L（图7），*Q*ts为0.9，扬声器冲程被密闭式音箱限制在1W功率、2.6mm冲程以下，低频信号被“切”得更加多。我们几乎可以把低中音的音量提升1倍也不会超出扬声器冲程太多。

由此可知：密闭箱容积越小，*Q*ts越高，对扬声器冲程的限制也越强，低频“切”得越多。*Q*ts是和音箱控制力有点冲突的，*Q*ts小，瞬态好，但低音控制力差，*Q*ts高，瞬态差，但低音控制力好。当我们要求声音大，低频控制力好，失真小，可以用小容积密闭箱收紧低频。当我们要求低频下潜深，可以用大容积密闭箱扩展低频，但是会牺牲些音量，而低频感觉是否足够是和音量密切相关的，下潜深但是音量不够，也不会感觉低频足。在迪斯科舞厅我们感觉低音很震撼，并不是低频下潜得够深（迪斯科的低音频率下限一般在60Hz附近）而是音量足够大。

我们再换一个12英寸的低音扬声器看看（图8）。

12英寸的扬声器，低频下限30Hz，冲程8mm，音箱容积76.6L（图9），*Q*ts为0.5，在1W功率下、50Hz频率处扬声器冲程是0.8mm，30Hz频率处扬声器冲程是1.3mm，离12英寸扬声器冲程8mm还有很多余量，这是音箱容积（76.6L）比较大所致。

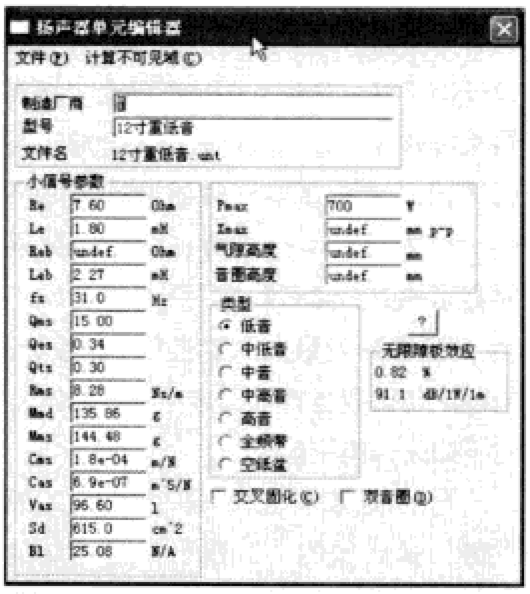


图8

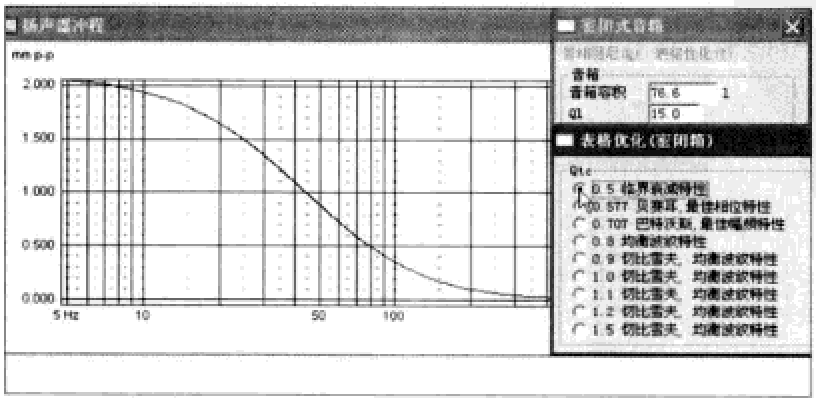


图9

音箱容积为27.4L（图10），*Q*ts为0.707，在1W功率下，50Hz频率处冲程为0.75mm，30Hz频率处冲程只有0.9mm，可见30Hz频率处扬声器的排气量偏小，浪费了12英寸扬声器能重放30Hz频率信号的优势，音箱容积太小，低音收得过紧。

音箱容积为48L（图11），*Q*ts为0.577，在1W功率下、50Hz频率处冲程为0.75mm，30Hz频率处冲程为1.25mm，音箱体积和低频下限都比较合适。由此可见，由于12英寸扬声器冲程大，几乎不用考虑冲程会超出限制而造成失真，只需要在音箱体积和低频下潜之间找到一个平衡点。

密闭式音箱的设计不是简单地将*Q*ts设计到0.7就万事大吉。要考虑的因素很多，在上面的例子中，5英寸的扬声器的*Q*ts设计到0.8合适（著名的4英寸音箱LS3/5A就是将*Q*ts设计成1，低音收得很紧。与其说将*Q*ts设计高些是为了使低音更有韵味，还不如说是为了限制扬声器冲程更准确）。12英寸的扬声器的*Q*ts设计到0.577合适。如果我们对低音的排气量、冲程，*Q*ts，音箱体积等认识不够，依靠某些书籍统一将*Q*ts设计到0.7，就会出现5英寸扬声器密闭箱音量大点低音就失控，12英寸扬声器密闭箱低频下潜发挥不够的情况。假如是一个8英寸的扬声器需要考虑的因素就更多——既要考虑低音下潜，又要考虑*Q*ts，还要考

音频传输的平衡/不平衡方式及抗干扰

◎姚贵林

音频传输的平衡/不平衡概念，是对信号地而言，而不是对“工艺地”（机壳）的。双绞线是平衡式的，同轴线是非平衡式，但在同轴线的外屏蔽与机壳加有绝缘垫情况下，原来非平衡的同轴线对机壳来说又是平衡的。平衡接法一般有三条线：热端（“H”或“+”）、冷端（“L”或“—”）以及屏蔽端。平衡和非平衡的接口类型有RCA（莲花接口）、1/4英寸TS（大二芯）、1/4英寸TRS（大三芯）、XLR（卡侬）。XLR、TRS的对照如图1所示。

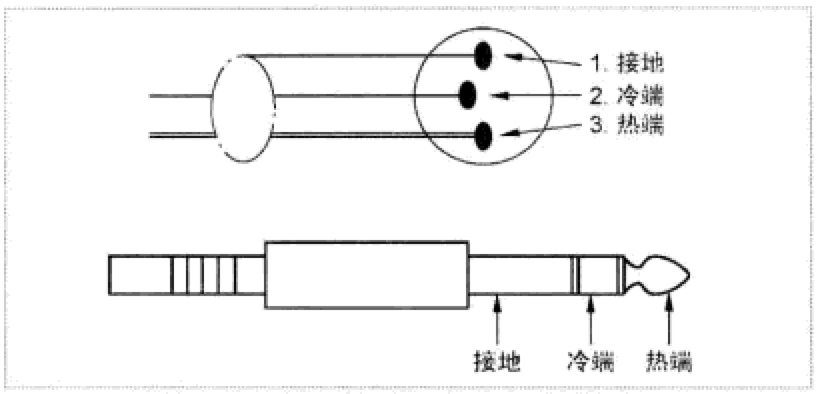


图1 XLR型插头与TRS型插头对照图

音频传输的不平衡方式

不平衡方式用一线来传送信号，另一线接地用。在典型的平衡方式中，接地是线缆的屏蔽层，由此可以推出：不平衡方式更容易受到噪声的干扰，如图2所示，所以，不平衡方式的传送距离是较短的。

常用的不平衡方式接头有RCA、1/4英寸的TS、1/8英寸的迷你接头（一般用于计算机的声卡），1/4英寸的TRS接头有时也用于两个通道的不平衡传输。我们以传输不平衡的立体声为例，TRS接头的T-S用于左声道，R-S用于右声道，

虑冲程限制，音箱体积等。而LSPCAD电脑辅助模拟设计软件帮助我们从繁琐的公式计算中解脱出来，熟练掌握后可以让我们有更多的精力去考虑其他因素，最终帮助我们设计出好的音箱。

曾经有人说过：“丝不如竹，竹不如肉”，貌似检验一个音箱的好坏，用弦乐（丝）不如用气乐（竹），用气乐，不如用人声（肉），而能表现好人声的音箱就是一个好的音箱，至于为什么呢？没有说。我理解是人声的频率范围一般是300Hz~3kHz，这个频段范围常是分频器分频点的范围。假如分频器设计得不好，分频点衔接不平滑，扬声器相位处理不好，人声表现不会好，所以人声是考验音箱分频器设计得好坏的一个方法。但是人声和分频器只是对音箱的中高频有影响，对低频影响不大，对低频影响最大的要靠音箱的设计。所以这句话我觉得要改成：“丝不如竹，竹不如肉，肉不如皮”。

什么是皮？皮就是“鼓”，而“鼓”是皮做的，“鼓”是最古老的乐器，很早的时候古人就懂得靠“鼓声”来鼓动人的情绪，用于战争。“鼓”常常是音箱低频的表现，一个音箱低频表现得不好，会没有感染力和节奏感。而低频的表现是和音箱的设计密切相关，音箱系统设计的第一步是要保证低频有良好的表现，这是好音箱的基础。所以我去购买音箱或者设计音箱时常常先用低频音乐来检验音箱设计合理性，将那些低频控制差，没有力度，缺乏弹性，低音浑浊的音箱剔除掉，然后再试人声——检验分频器的设计。

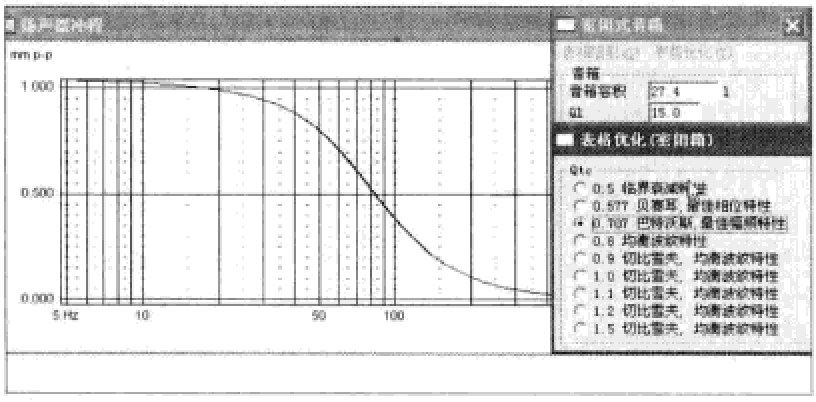


图10

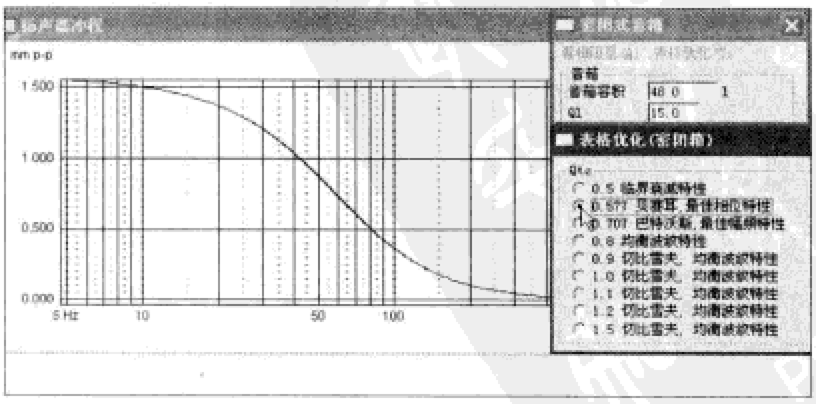


图11

S用于连接左右声道的屏蔽层。其他的不平衡接口还有TS Phone接口，或为了节省空间而采用的TRS接口。而调音台的INSERT插口则是对TRS接头的另外一种应用。需要指出的是：不平衡方式一般用于消费类设备和所谓专业级消费类或专业级设备。但在广播和后期制作领域也可以看到不平衡接口的使用，如DVD、VHS录像机、卡座等设备。

音频传输的平衡方式

平衡方式用一对双绞线来传输音频信号，两线用幅度相同、相位相反的信号来驱动，由于热端信号线和冷端信号线在同一屏蔽层内相对距离很近，所以在传输过程中受到的其他信号的干扰几乎是相同的。在下一级设备的输入端，把热端信号和冷端信号相减，相同相位、相同幅度的干扰信号被抵消，而被传输的信号却由于相位相反不会损失。图3示意出了平衡传输方式的抗干扰原理。

基于抗干扰的考虑，在专业的场合和传输距离比较远的时候通常使用平衡传输方法。在功率匹配的线路中，输出阻抗一般为600Ω或150Ω，现在音频（AES-3）的阻抗一般为110Ω。在模拟音频中，桥式电路是较为典型和常用的匹配做法，一般输出阻抗为50~60Ω（用来匹配高达10000Ω的输入阻抗信号）。

音频信号的平衡接法的常用接口除了XLR、1/4 T RS以外，还有D25、AMPChamp、50-pin，Elco（Edac）等，Elco（Edac）的接口有20、38、56、90、120 针等5种形式，以上接口应用于不同的场合。平衡接线的另外一个要注意的关键点是屏蔽层不应作为信号路径的一部分，它必须连接到设备机器上。平衡接线方式有较好的抗干扰性，信号可以传输得较远。平衡电路主要是变压器驱动，现在大多数应用的是差分电路，如图4所示。良好的电路设计可以充分发挥平衡方式的优点。

平衡方式与不平衡方式的不同及转换

平衡和不平衡电路是有差别的，差别之一是阻抗，不平衡电路的输出阻抗通常是高于平衡电路的，在100~10000Ω范围，用来匹配的输入阻抗为50000Ω或更高。差别之二是电平，两者的电平差异是很大的。对于专业的音频设备，一般平衡接口的电平在+4dBv（参考电压为0.775V）或1.2V。消费类不平衡音频设备输出电平一般在-10dBv（参考电压为1.0V）或3.6mv。由此可知，一般消费类设备没有足够的电平来驱动专业设备，如果用输入增益来提高其电平，也会提高噪声电平，反之，专业设备驱动消费级设备会出现电平过高的问题。但消费级的设备上却通常没有输入衰减来处理这一

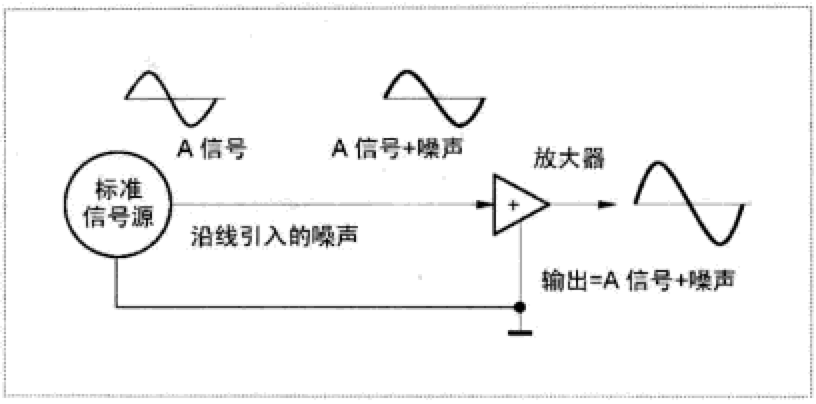


图2 不平衡方式抗干扰原理图

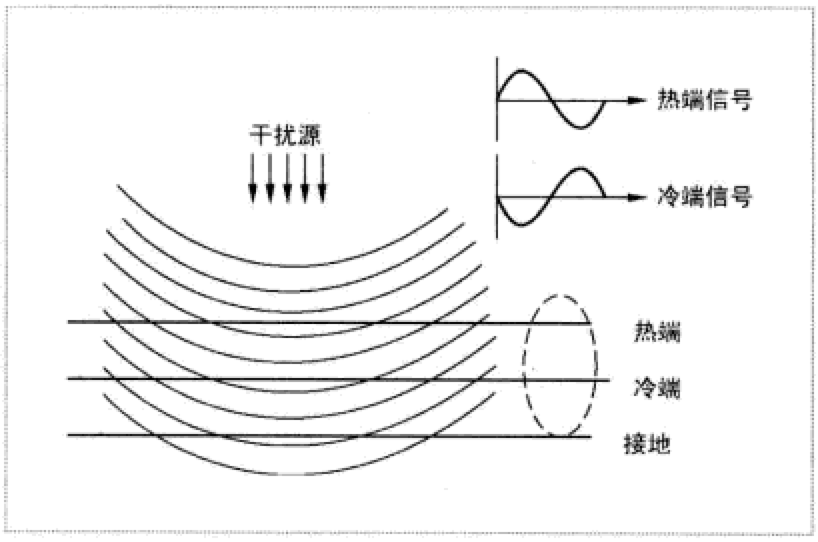


图3 平衡方式抗干扰示意图

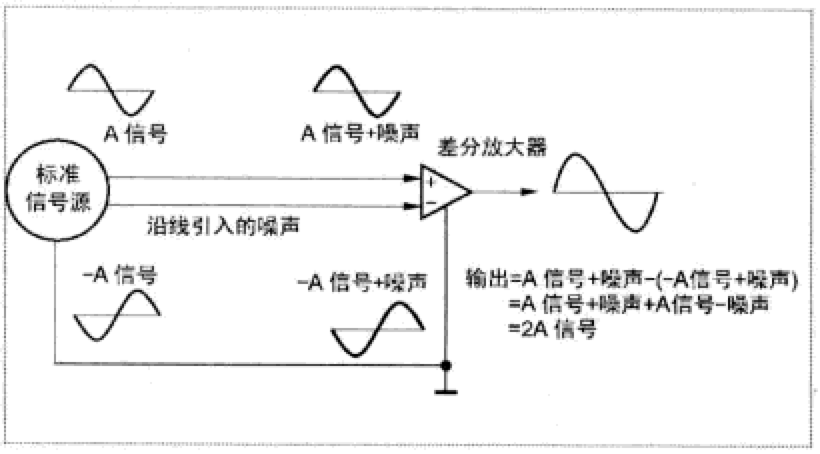


图4 平衡方式抗干扰原理图

问题。

通过以上分析可以看出，平衡和不平衡设备的连接不像用一根转换电缆那样简单，有时我们用一台平衡转换不平衡的有源设备来进行阻抗和电平转换。不平衡线路必须远离供电电缆和电源，尤其是不能平行于供电电缆。有时我们也用阻抗转换器来进行平衡和不平衡的转换，但它一般仅考虑了动态范围内的阻抗变换，没有考虑电平的差异。平衡和不平衡转换的最后一种选择是用一根转换电缆，但是它不能进行电平或阻抗转换。

经典实用的CDM12顶推式CD机套件

◎aeon

设计者感言：CDM12，有人可能会陌生，当然如果您对激光头比较了解，您应该知道这是 Philips 的激光头型号。在全球 CD 机激光头市场中，使用最多的是 Philips 和 SONY 品牌的。高级的激光头我们就不介绍啦，在普及型激光市场上，我们不得不提的是 Philips 的 CDM12 和 SONY 的 KS213，这两款激光头占据了广大 CD 和 VCD 市场。记得以往在判断 CD 机使用哪个品牌激光头，最简单的办法就是关机，托盘能拉出来的就是 Philips 的，拉不出来就是 SONY 的。经过了长时间市场检验，激光头也在不断更新，截至他们停产前，其的型号分别对应为 VAM1202 和 KS213Q。因为 DVD 等新型设备的兴起和 VCD 市场需求的萎缩，CD 机逐渐被新型消费者淘汰，这些经典都成了昨日黄花。

如果把这两个经典的激光头放在一起，实在难分辨出优劣，但以 CDM12 高于 KS213 一倍的批量价格和结构复杂程度来看，CDM12 激光头性能应该是高于 KS213。当然整机的设计和激光头无关。不能说你有个厉害的激光头就天下无敌了，整体设计才是最重要的。

顶推式最简单的解释就是：这个机器的顶上是推盖式开仓的，碟片是从顶部放入的，以往 CD 机基本都是仓门前面进出放碟，但从技术角度来说，顶推式的机器在读碟及稳定性方面要高于进出仓。因为进出仓的机架一般是兼顾性设计，对避震等环节做不到极限。进出仓式的 CD 机的碟压住碟片的时候，一般是靠进出的偶然结合，有一定的间隙，理论上具有独立避震结构的 CD 机要高于采用普通塑料机架的 CD 机，进口天价的 CD 机大部分都是具有独立避震结构，很多采用顶推或者抽屉式，从产品设计每个环节的细致性来说，追求每个环节的极限是必须的。

对于 DIYER 来说，自己制作 CD 机基本来说是不可能，因为特别制约的环节就是 MCU 程序和结构，以往有利用 VCD 和光驱制作 CD 机的先例，但这些是不具有完整功能的 CD 机，要么就是忽略避震，要么就是忽略结构，要么就是遥控不方便等，的确，对于 DIY 来说，CD 机是非常不易的。但是，只要你做了我们这个套件，多难的制作也能在你手中完成。

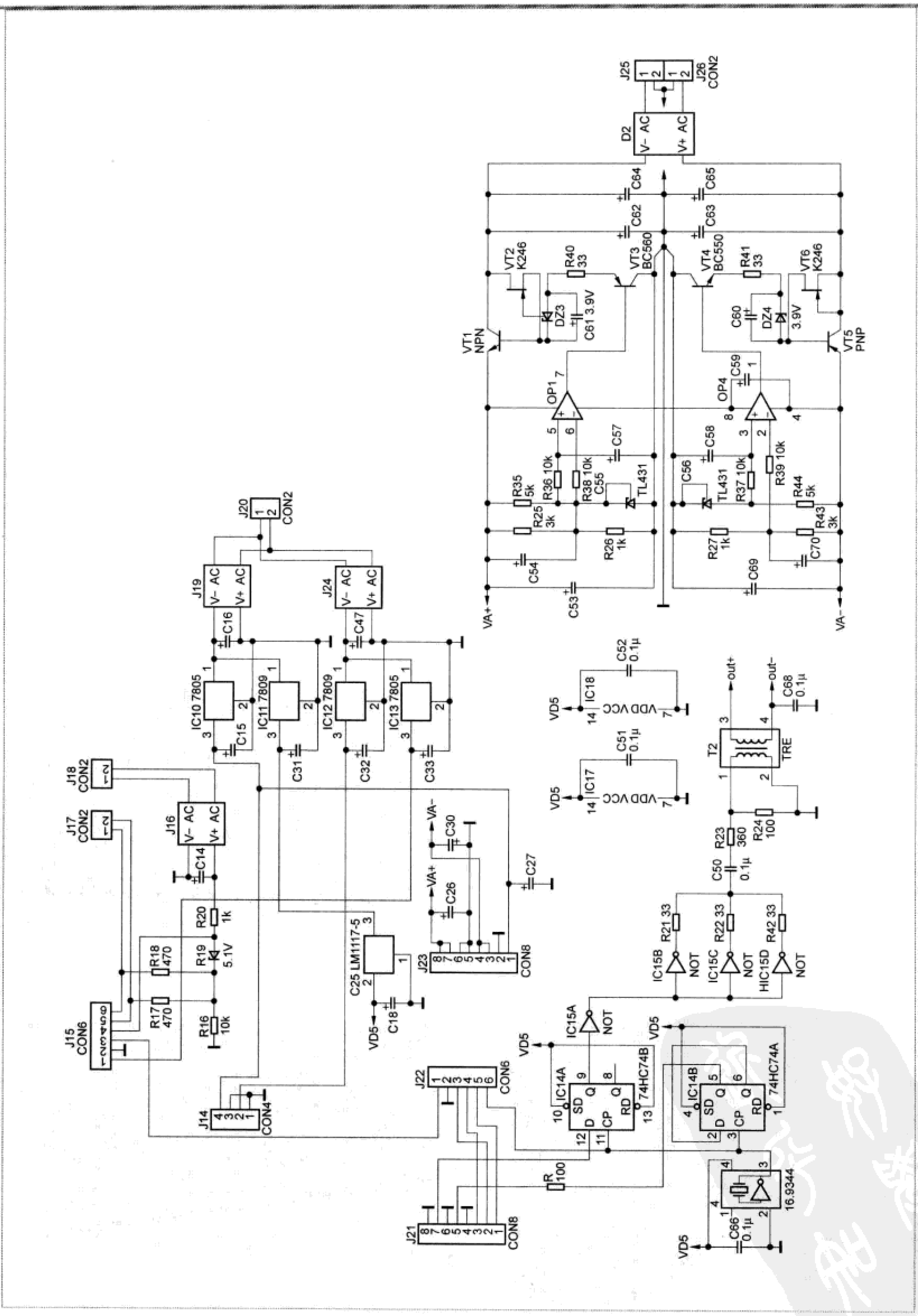
套件特点

1. 采用CDM12的最终型激光头VAM1202，采用8mm厚的方形全铝板作为整个激光头的固定部分，整个伺服板直接安装在8mm铝板上，采用立柱和8根软弹簧进行避震，整个机架固定在全铝结构的机箱上，整机尺寸：248mm×72mm×330mm，重达6.5kg（高阶版）。

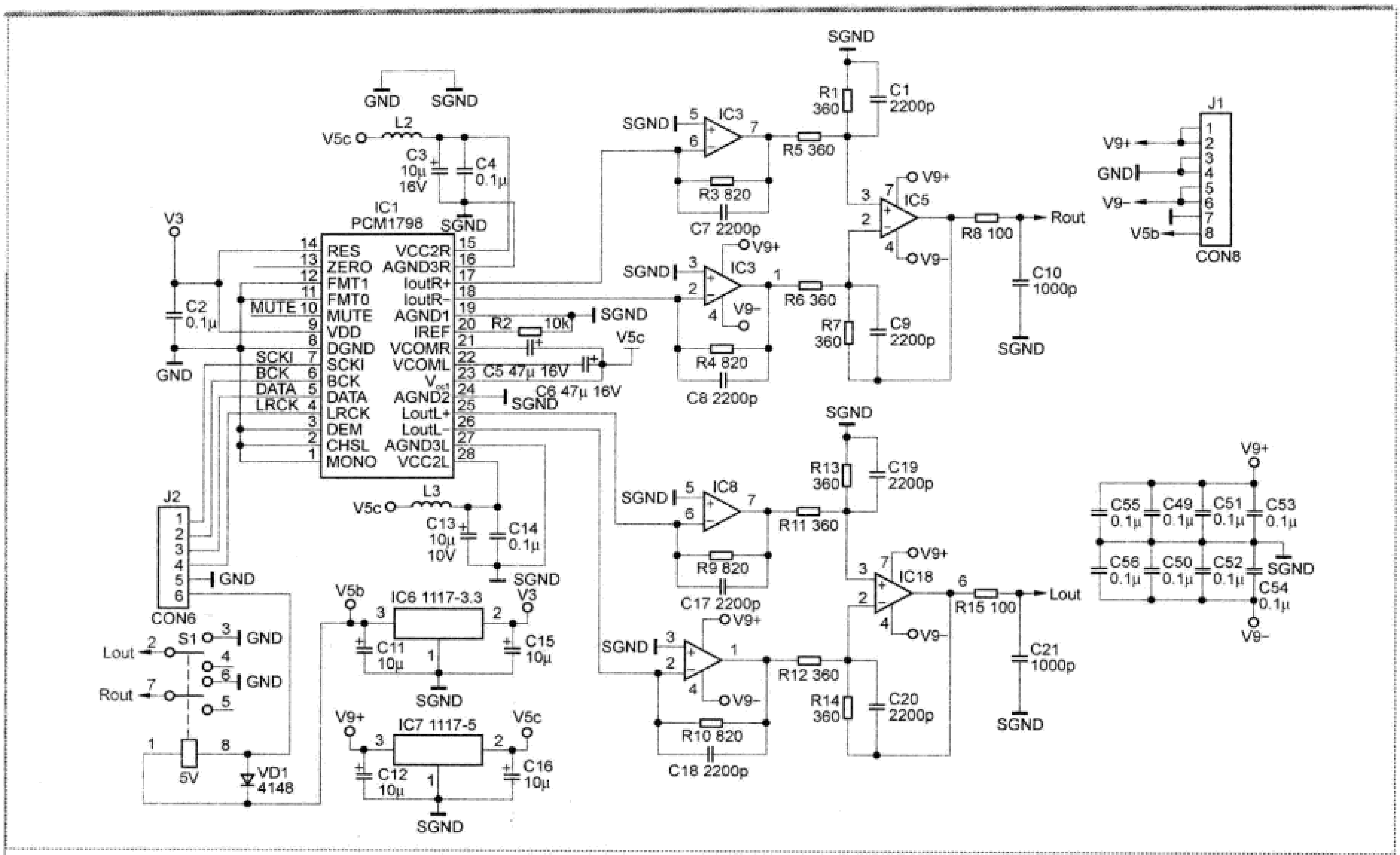
2. 整个CD机电路设计采用了时钟同步技术，同轴输出采用了数字重整电路，时钟同步的简单意思就是整个系统一个TCXO时钟与各个部分的时钟同步。16.9344M的时钟信号分三路分别输入核心DSP、数字输出芯片和PCM1798 DAC芯片，相关的电路资料请见附图。

3. 整个套件中最难调整的是伺服板部分，为此我们将此伺服板制作成了成品。该板是按照Hi-Fi标准全新设计的，保证了整个机器的指标。大家收到的套件会带一块调试好的成品伺服板，以解决大家制作CD机最难解决的问题。

4. 本CD机分为标准版和高阶版，大批量使用优质元件，因为HIFIDIY使用元件一直保持高品质一致性，我们在这就不描述啦，大家自己可以看图感受!



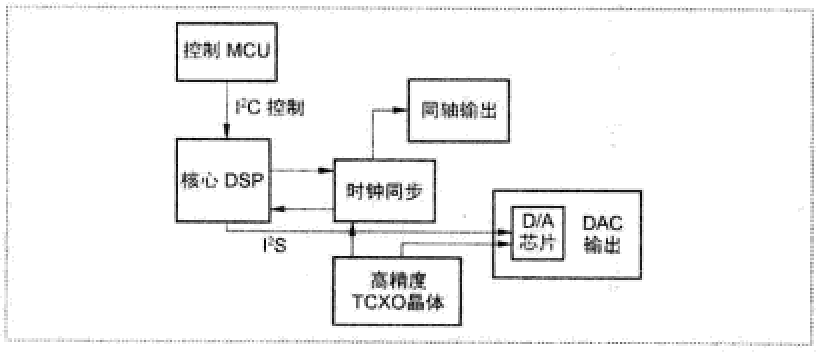
电源和数字输出部分电路图



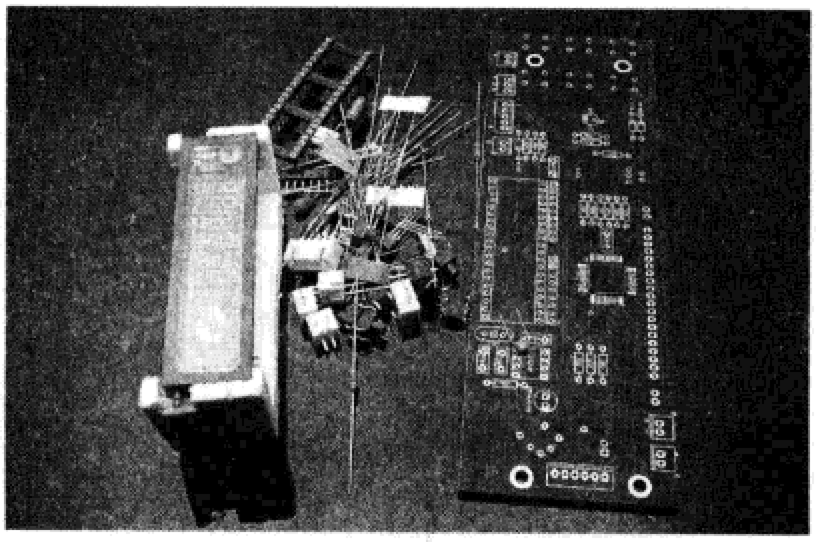
数字解码电路（DAC）和低通滤波电路（LPF）

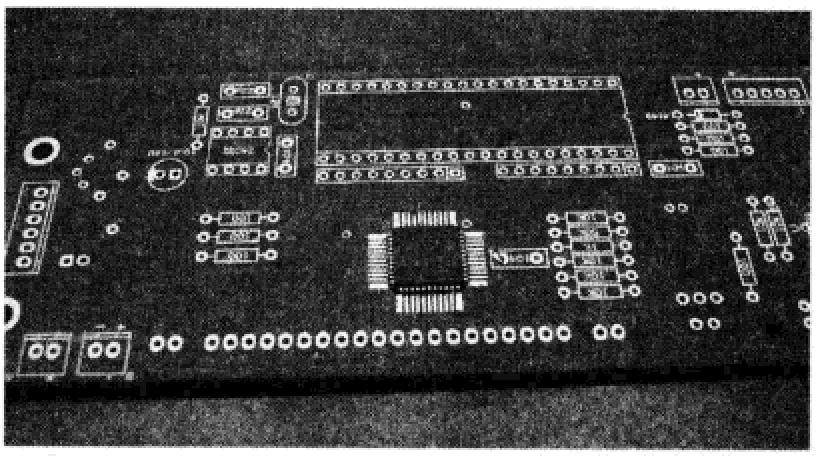
直播CD机的诞生

先了解整个CD机的电路框架。

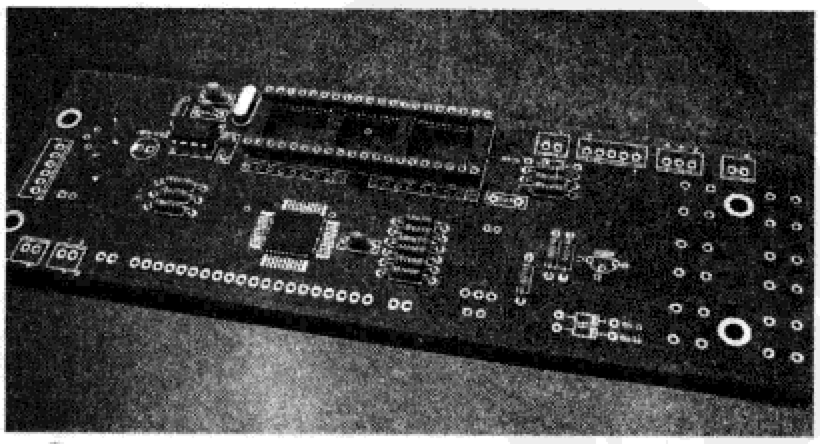


1. 焊接显示板

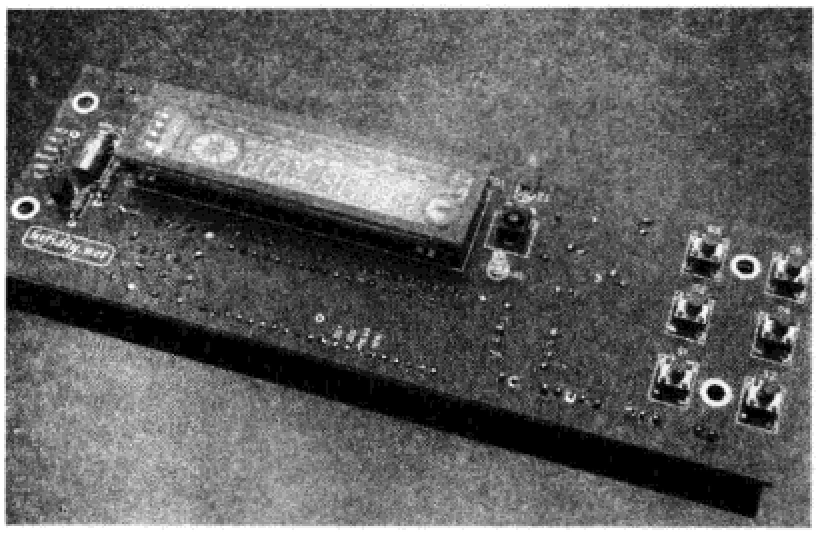




01 显示板是整个机器的核心部分，MCU控制整个激光头的正常运行和接收，所以焊接时一定要仔细，特别是那个4面都是脚的贴片。

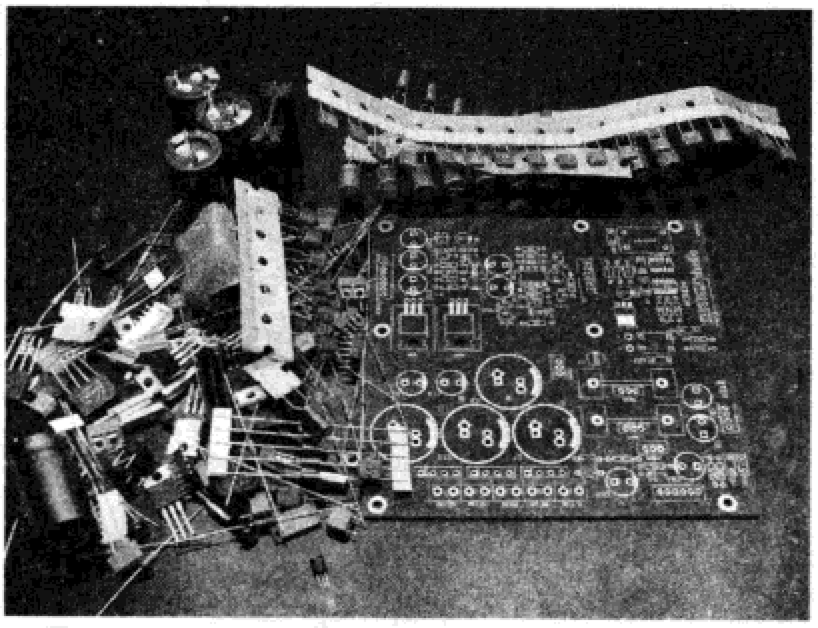


02 焊接显示板反面。

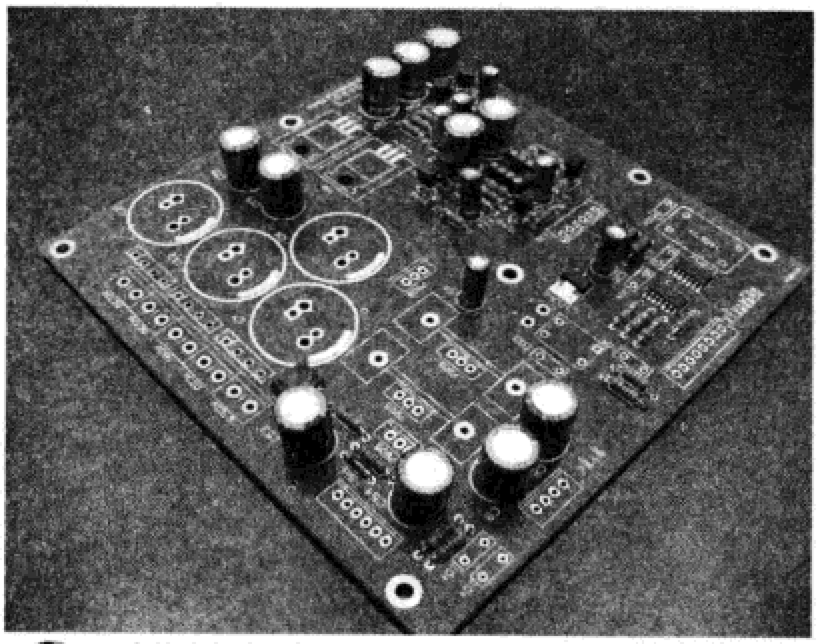


03 焊接显示板的正面。

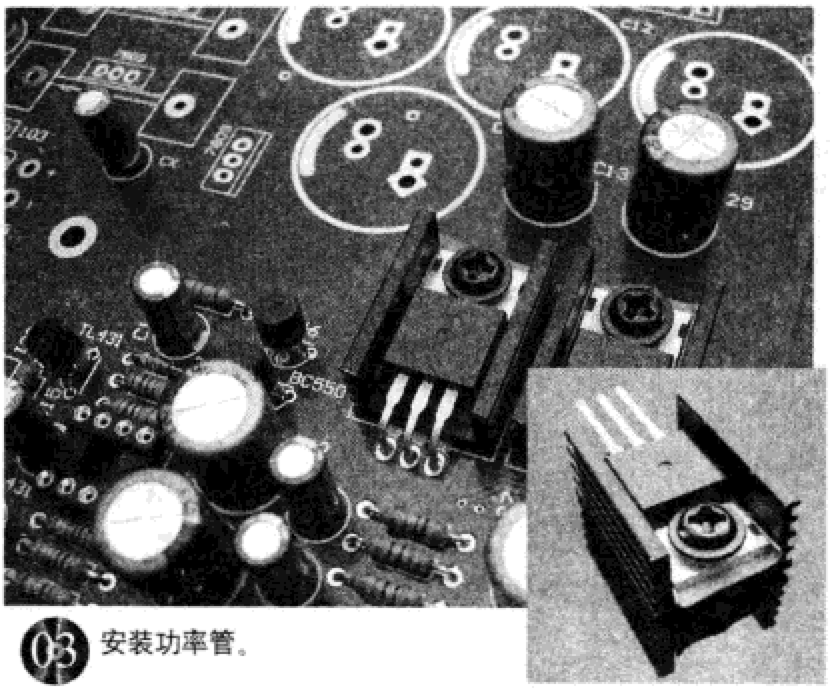
2. 焊接主板



01 重点焊接贴片，这是影响整个机器是否正常工作的关键。

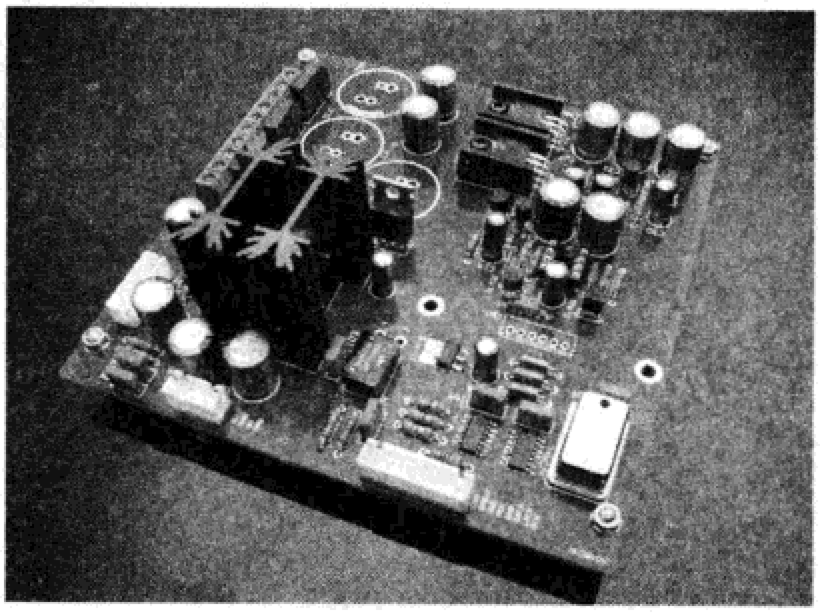


02 图中的功率管是电源的输出调整管，因为空间的原因，必须卧式安装，所以请一定安装好绝缘垫。



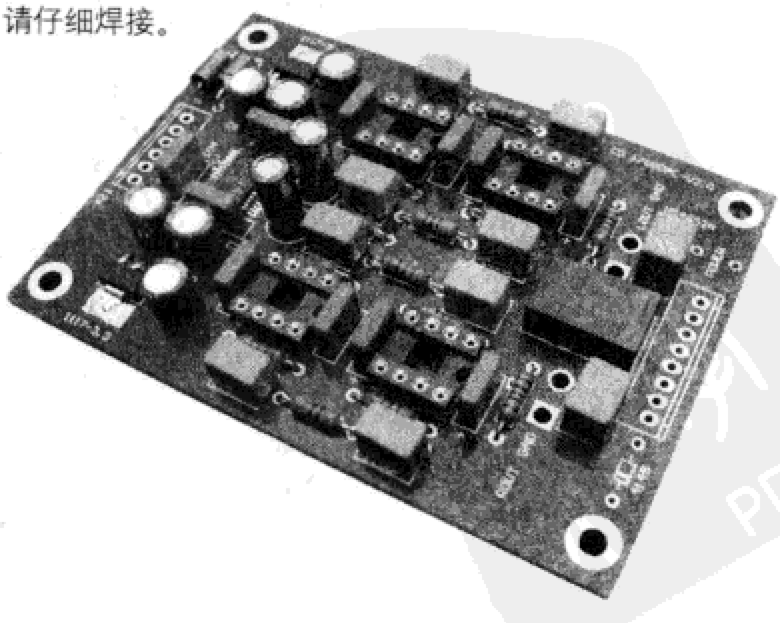
03 安装功率管。

3. 焊接电源板

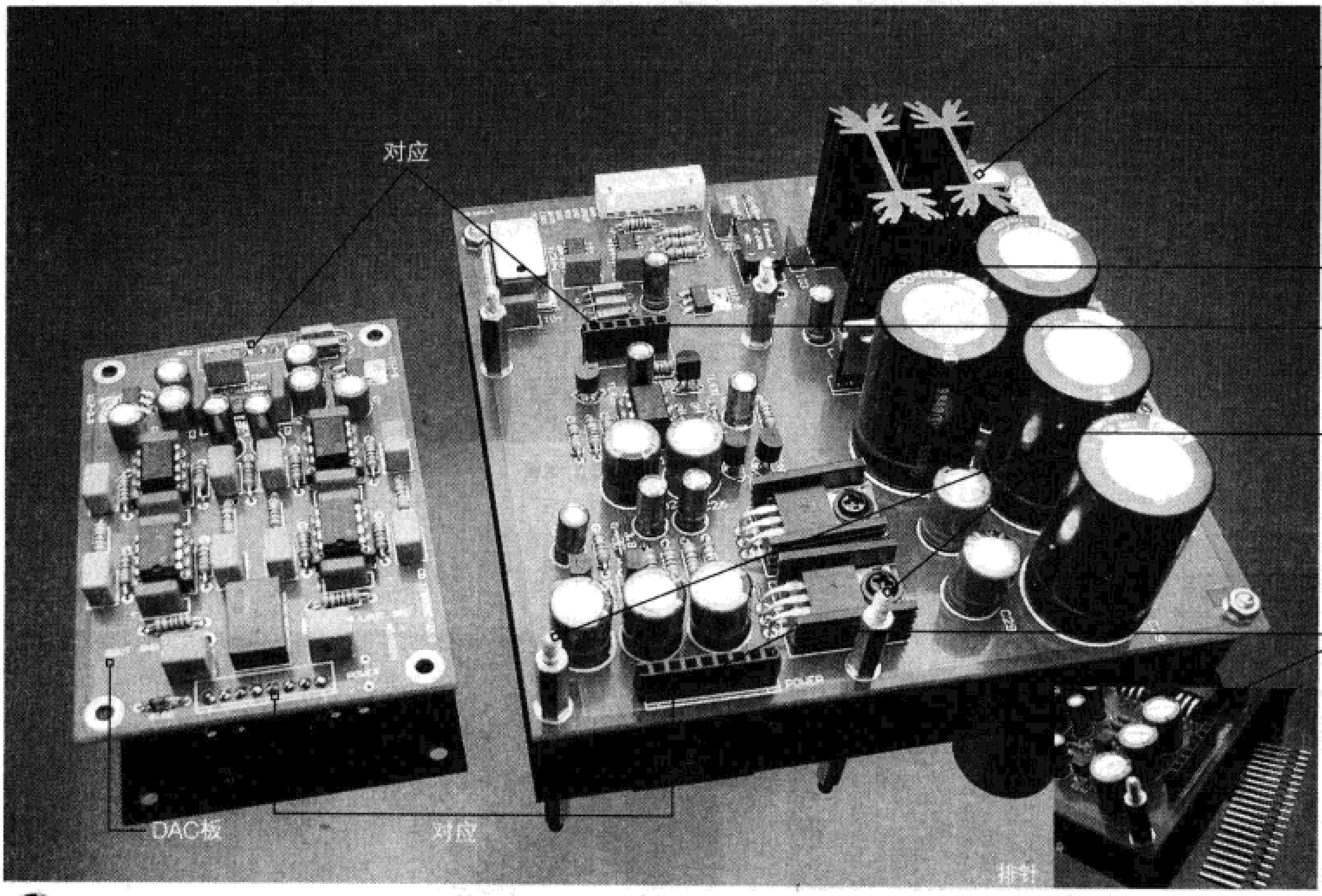


4. 焊接DAC板

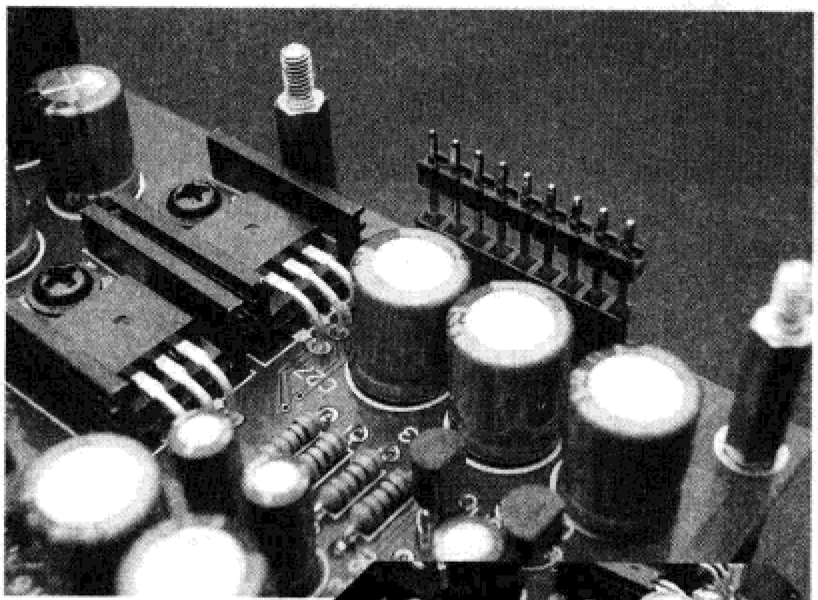
这个板的核心也是贴片，采用BB公司的24BIT的DAC芯片PCM1798/4，所以本芯片的焊接是影响整个机器性能的关键，请仔细焊接。

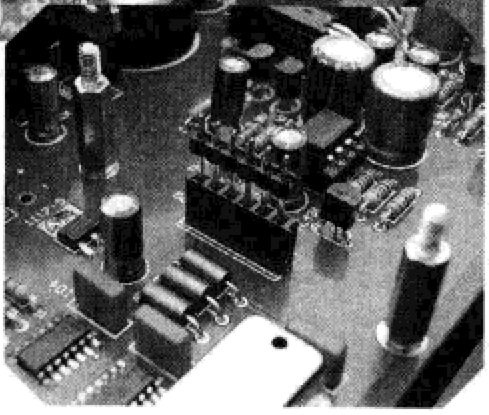


5. 组装电源主板和DAC主板

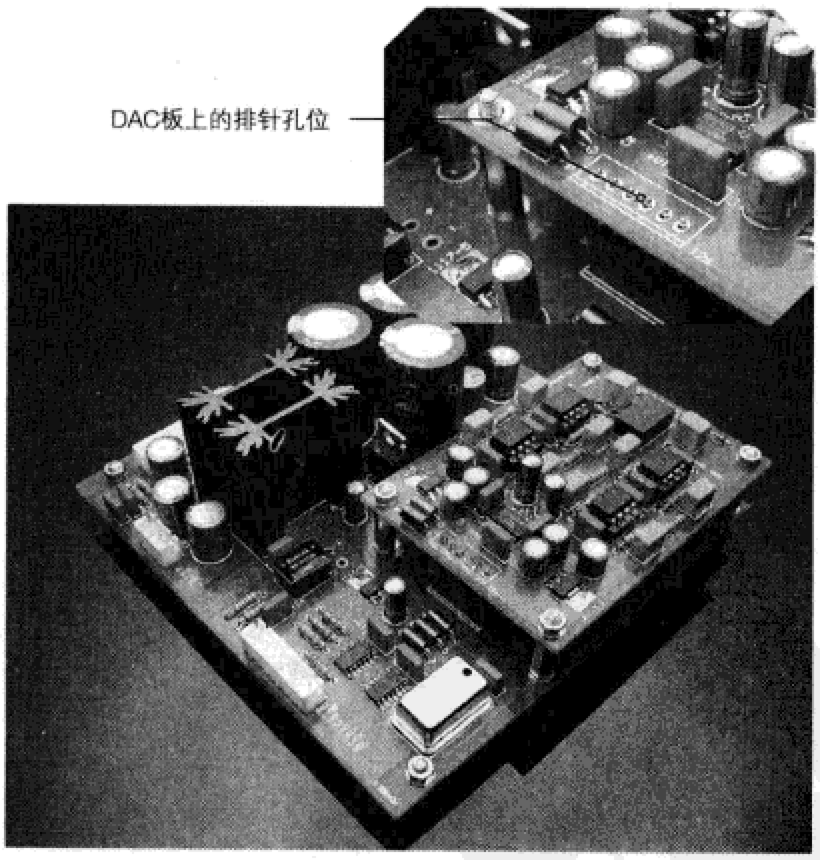


01 接下来的工作就是把两块电路板结合在一起，首先用配套的铜柱固定到PCB上。





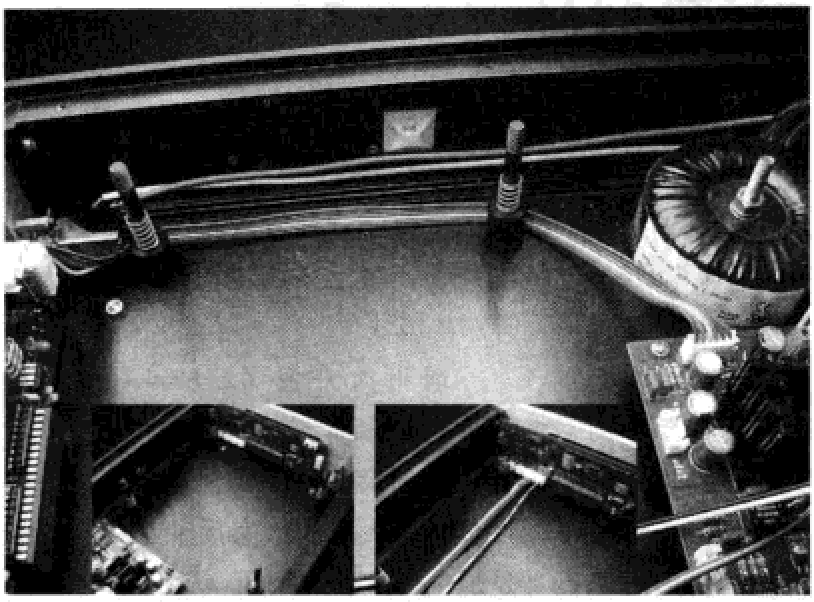
02 然后把DAC小板对着孔位安装上去。



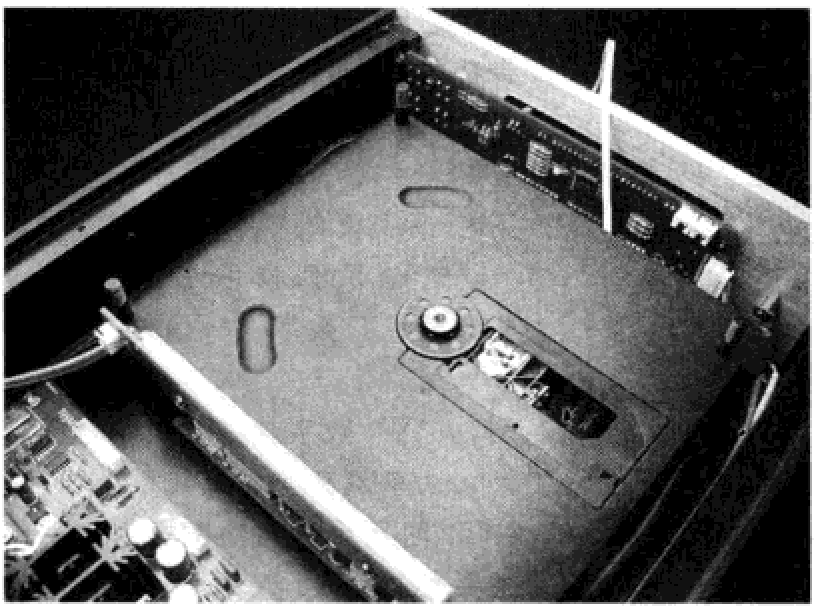
03 此处把小板安装上去再焊接，主要是为了避免位置的偏差，便于大家以后拆卸。

6. 组装整机

所有电路板完成后开始组装整机啦，你收到的套件将是一块块的铝板，此时要考验你的DIY能力，由于篇幅所限，本文没有给出所有安装步骤的图片，但是我们相信，能DIY的人



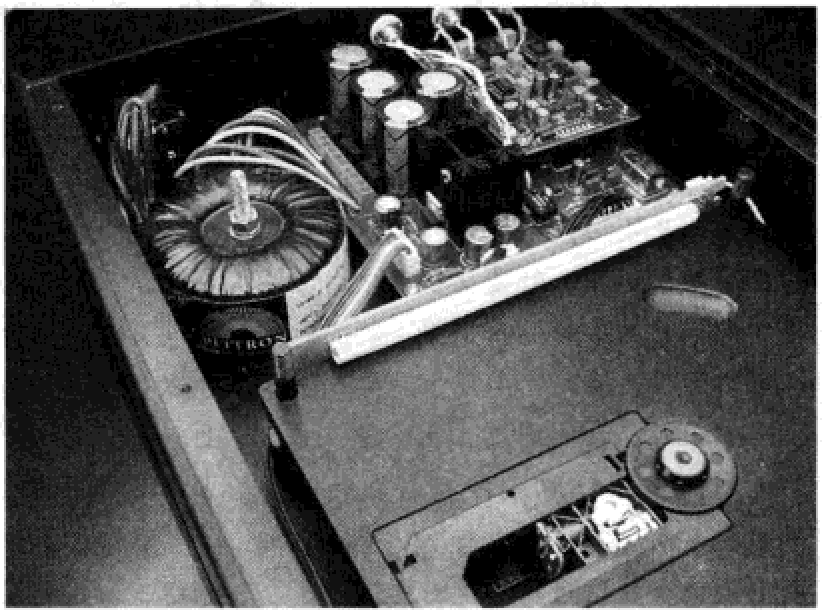
01 将激光头、托板、伺服安装好。把整个激光头部分放到安装了避震弹簧的机箱内，然后开始接线。



02 我们的变压器输出端是适合全球各地区使用的，所以在中国地区请使用220V接法，一定要看准变压器输出绕组电压与PCB上标明的输入电压完全一致。

肯定会自己拼装好机箱的。

在前面板上安装8mm铜柱、套上按钮，将焊接好的显示板套在前面板上，然后在机箱内安装电源板，安装托板支架、变压器，再进行接线。



03 安装前面板和盖板。

04 一套精致的CD就在你手中诞生了，好像不太复杂哟！但需要你认真和仔细。

套件销售

套件价格：标准版1780元/套+50元邮费

标准版套件：采用R型50W变压器，海创3PPM TCX0晶体，核心DAC部分框架为PCM1798+OPA604，采用日本KOA电阻和nichicon音响专用FW系列电容，核心主电容采用nichicon 最高音响专用KG金字系列。

高阶版2680元/套+50元邮费

高阶版套件：采用加拿大PLITRON 50W环型变压器，采用海创1PPM TCXO晶体，核心DAC框架为PCM1794+AD797，采用加厚型全铝机箱（比标准版重1kg），全铝遥控器，4枚特别定做的全铝机脚，核心电源主板全部采用美国DALE电阻+nichicon KZ MUSE金字电容、核心主电容采用nichicon 最高音响专用KG金字系列。

以上两款套件，凡在《无线电》杂志订购的，特别使用3枚进口CMC镀金RCA座。

购买方式： 1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，（请注明CDM12套件和汇款人电话）

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/

经典厚膜STK4191X的新玩法

——自举、恒流两版本电路的设计

◎林伟淏

三洋厚膜STK4191Ⅹ是20年前很流行的一款功放集成电路。那时大家每月工资不过几十元钱，买这不起眼的厚膜集成块，就要花费几个月饭费，因而，很多爱好者是买不起的。据说有不少人省吃俭用几个月买一块STK4191Ⅹ，用心做出功放来珍藏。

时间飞快，厚膜停产之后转眼间就被人遗忘了。而我——一名90后宅男就更不曾目睹它当年的辉煌了。但在一年之前，在废品收购站买到了几块AV功放电路板，打算回家拆下作备件。无意间发现角落里面有一块芯片，上面写着STK405-050A，就顺便带了回来。后来知道它就是厚膜集成块。几个月后收了一个朋友的组合音响，拆开之后发现一块STK4131Ⅱ模块。当时对厚膜集成块了解太少，所以看都不看就丢在一边了。一次心血来潮，把之前顺来的STK405解剖了，看到里面的结构，马上就后悔了：银线、漂亮的三极管管芯、精致的走线，没有电感的电阻……这一切都证明厚膜集成块在硬件方面确实不差。再后来，发烧友中有人说想重新做STK4191，于是我设计了18脚的STK4191Ⅴ板子，并用上了曾经被我遗弃的STK4131Ⅱ进行测试，仅仅是这一次的测试，就让我喜欢上了这种温暖的声音，爱上了这块年纪比我还大的厚膜集成块。

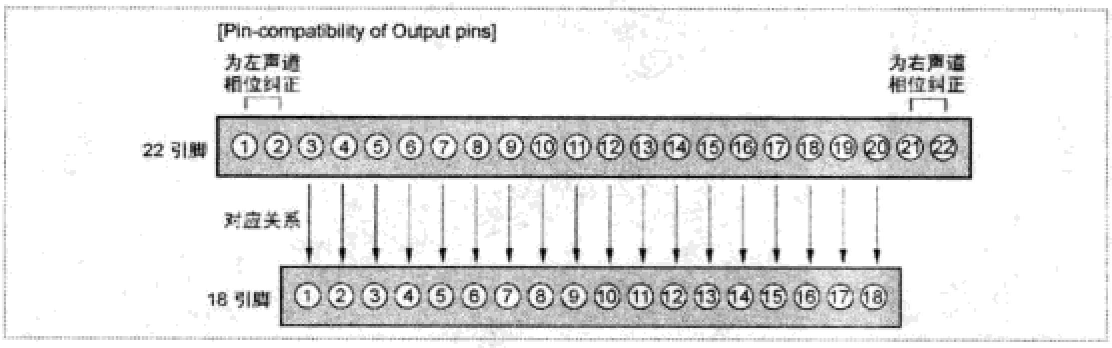


图1 STK4191系列18脚与20脚的对应关系

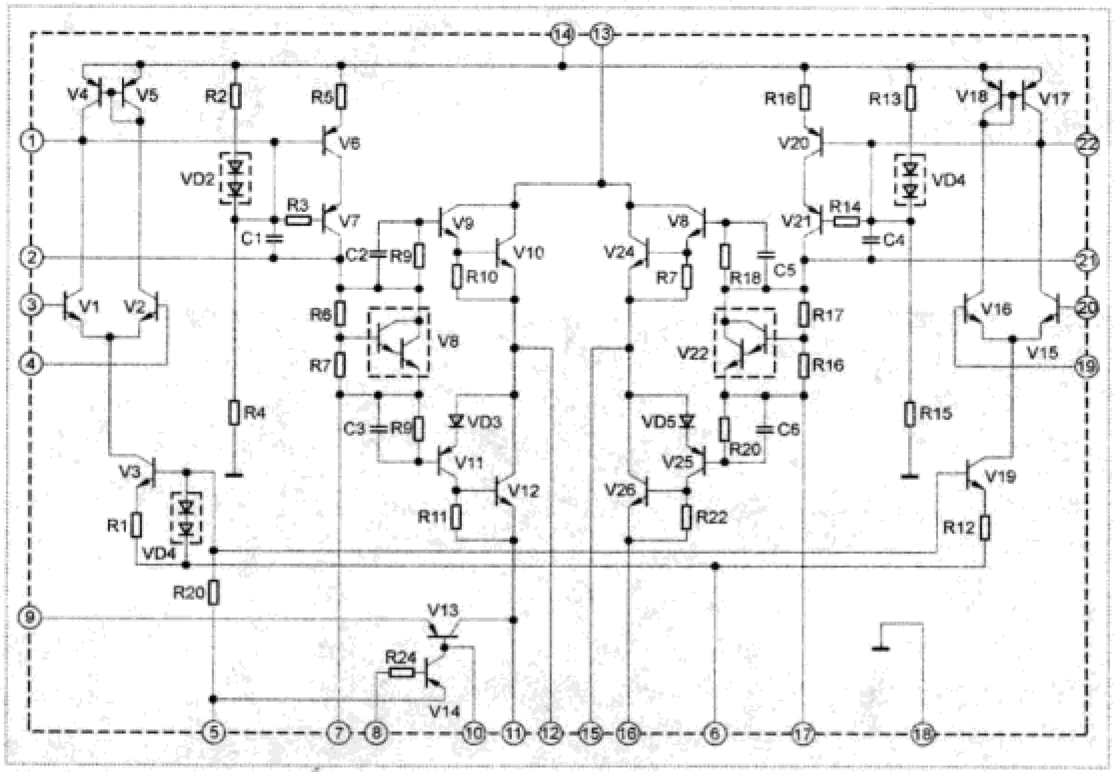


图2 STK4191X内部电路

前不久开发了STK4191Ⅴ的PCB，该PCB其实可以适用于这一系列18脚的所有模块。当时准备了一些套件分享给大家，大家反映都不错。但是那个PCB是双面板，价格比较高，而且STK4191系列有很多高端的版本是22脚的，使用起来有些力不从心。这些都是上个版本带来的小遗憾。于是带着这些小遗憾和大家的期待，又开始设计新版本的STK4191，这个版本主要供STK4191Ⅹ使用。下面着重介绍一下这一系列模块。

这一系列模块名称上有一些共同点：数字上一般是41X1、41X2、42X1，“X”代表功率级别，“X”数字越高，表示耐压越大、功率越高。由此说明4191比4151耐压更高、功率更大。后缀主要有Ⅱ系列、Ⅴ系列、Ⅹ系列。

三极管方面：管子都是专门定做的。批量生产挑出来配对性最好的用来做Ⅹ系列，在剩下的管子中，挑出来配对性差不多的用来做Ⅴ系列，最后甩下的管子用来做Ⅱ系列。也就是说三极管方面X系列是最一致的，而Ⅱ系列是最差的。

虽然是有反馈的AB类电路，而且没有并联，输出管一致性对电路的影响不是致命的。但是在比较好的状态下输出管的一致性也是使整体性能提升的关键。

电路结构方面：Ⅱ系列18脚电路

附表

型号	PO（W）	THD（%）	V_{CCMAX}（V）	V_{CC}（V）		外形封装（mm）
				RL=8Ω	RL=4Ω	
STK4191II	50+50	0.4	±52.5	±35.0	±31.0	64×36.5×8.5
STK4191V	50+50	0.08	±53.0	±35.5	±32.0	64×36.5×8.5
STK4191X	50+50	0.02	±53.5	±36.0	±32.5	105×32×8.5

结构简单，谐波失真0.4%，Ⅴ系列18脚差分使用恒流源，谐波失真0.08%，Ⅹ系列 22脚 差分使用恒流，电压放大级多加一级隔离，失真更低，可以达到0.02%。22脚的模块（包括42×1的Ⅴ、Ⅱ、Ⅹ系列）可以看作在18脚模块基础上前后多增加2个功能引脚。

该系列模块型号参数对照如附表所示，18脚与20脚的代换如图1所示，STK4191Ⅱ和STK4191Ⅴ内部结构电路图因篇幅所限，在此从略，STK4191Ⅹ内部结构电路图如图2所示。

电路设计

官方提供的STK4191Ⅹ电路结构如图3所示，这是一个自举电路结构。自举电路在功率放大电路中时常出现。通常情况下引起大家注意的是自举电容，其作用主要就是通过输出信号改变电压级电位（或者说输出级前面的某一级）从而使三极管获得更好的静态工作点。采用自举电路在音色方面主要体现为：低频下潜很深、中频耐听、高频略显不足，这是电容的特性所导致的，所以有人喜欢在自举电容上并联小电容，起到调整音色的目的。我在设计电路时，不完全按照官方所给的电路取值，略有改动。

首先分析STK4191Ⅹ的内部静音部分（见图2），这部分虽然不是很重要，但是如果不看这部分，整个电路是说不通的。11脚为$-V_{CC}$，10脚为内部V13的b极，9脚外接100Ω至6脚，10、11两脚之间连接2个1kΩ电阻。这样当内部的V13导通时，6脚获得一个低电平，也就是电压级的$-V_{CC}$给8脚（静音）低电平时，相当于10脚接地，切断电压级供电，静音启动，也就是说，正常工作时，6脚可以认为是电压级$-V_{CC}$，C17（见图3）在通电瞬间让10脚接地，起到开机静音功能。

知道6脚的状态之后，再分析图3所示的整体电路。为了便于分析，将功率放大器的放大部分看作是一个大功率的运算放大器。R01（R02）、R03（R04）、C01（C02）、C03（C04）构成滤波电路，即：高通+低通。把输入信号范围限制在一个安全的区域，其公式为1/（2πRC）。通过计算，输入信号为1.29Hz~338kHz，

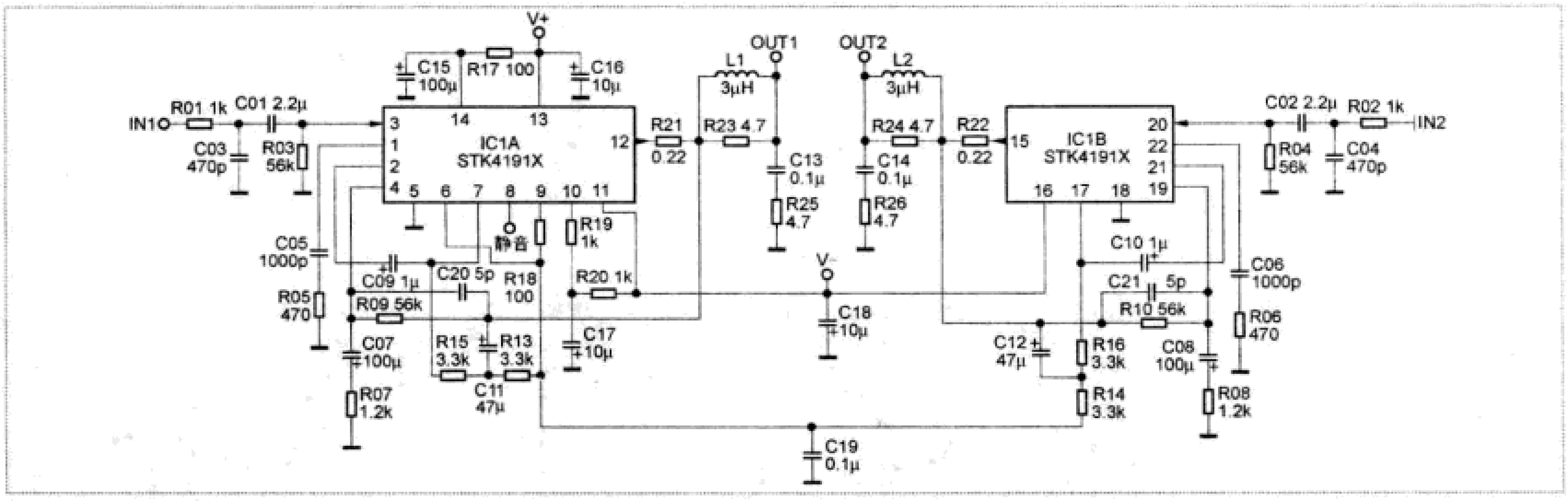


图3 自举版本的电路图

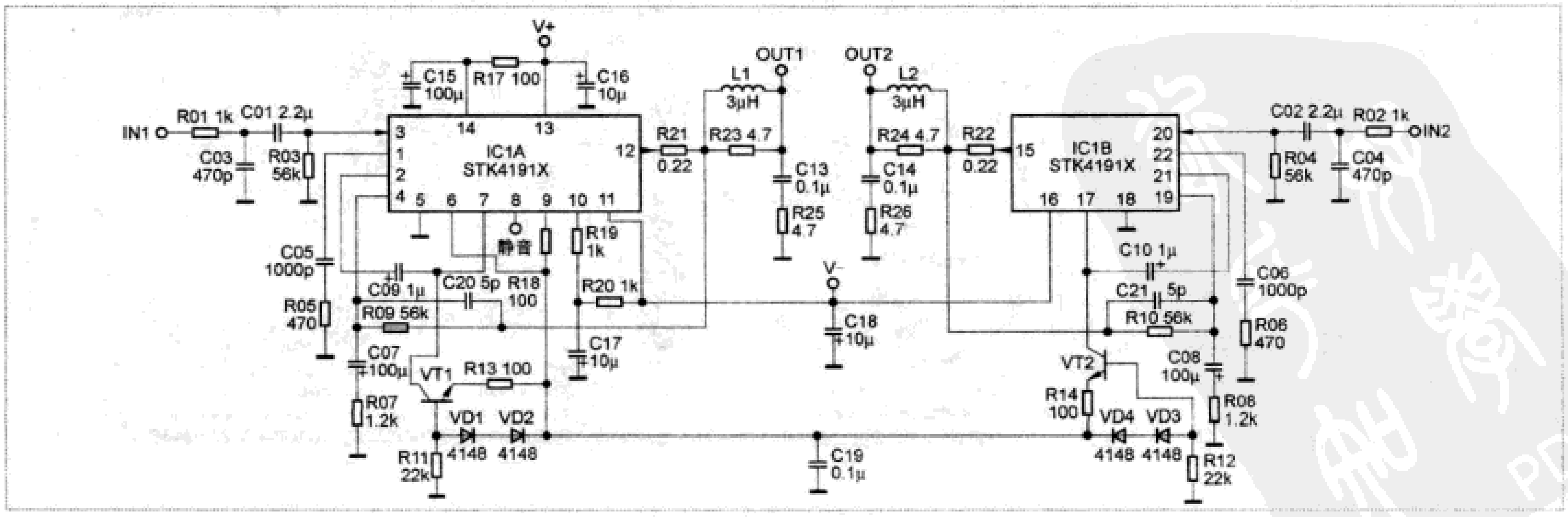


图4 恒流源版本的电路图

完全符合听觉要求。4脚为反向输入，R07（R08）、R09（R10）是输出反馈采样电阻，用来控制放大倍数。官方电路所给的参数增益过大，在设计电路时，调整了一下此参数，此时增益约为48倍。

C07（C08）接入反馈网络，使电路变为交流反馈，可以有效解决输出中点问题。此时低频截止频率为1.33Hz，也够用了。C20（C21）为反馈超前补偿电容，一般用3pF、5pF、10pF等，可以根据情况选择参数，甚至可以不用。R17 与 R18 作用相似，只是一个出现在+V_{CC}，另一个出现在-V_{CC}。C05（C06）、R05（R06）接2（22）脚，可以吸收一部分差分级的高频信号，用于稳定差分电路。C09（C10）接在1（21）脚与7（17）脚之间，在此处加1μF电容，起稳定作用，提供交流通路。L1（L2）为输出电感，对高频信号起一定抑制作用。电感上并联R23（R24），用于降低线圈的阻尼系数。C13（C14）、R25（R26）为茹贝尔网络，吸收高频信号，起稳定作用。

下面重点说说自举电路的特点，参看图3，C11（C12）、R13（R14）、R15（R16）形成自举电路。静态时由于输出点电位接近于地，而电容经过两个等值电阻分压获得供电电压单边一半的电压。当输出动态信号时，使7（17）脚电位总是低于输出，从而使V8（V22）始终获得足够的偏置电压，不会因为输出信号而影响三极管工作状态。

正因为如此，自举电路才会有耐听、低频下潜深等特点，所以不能随意说这种电路过时，也不要盲目排斥这种电路。不过要想达到理想、平衡的效果，自举电容可是至关重要的，它直接关系到声音的特点。选好这个电容可不是那么容易的，于是一些朋友给了另一种思路——就是用恒流源电路代替自举电路。

提到恒流源电路，好像很少有人用在STK4191系列的厚膜上。在设计STK4191 V时，很多耳朵挑剔的朋友指出了自举电路的不足，建议该用恒流源电路，于是这次开发了可以使用恒流电路的STK4191 X版本，见图4。

恒流源电路，顾名思义就是恒定电流。前面说的自举电路是把电位举高或拉低，使三极管偏置电压不变，而恒流源电路则是固定三极管上所通过的电流。一个可以达到更稳定的工作状态，这样就可以为制作STK4191 X带来更多的选择。

恒流源就是不管两侧加多大电压，两端流过的电流都保持恒定不变。参见图 4，地线电流由 R11（R12）、VD1（VD3）、VD2（VD4）流至 6 脚（之前已经说了 6 脚为电压级的负电源）。因为二极管正向压降是相对固定的，所以此时 VD1（VD3）、VD2（VD4）两个二极管上有固定的分压。

动作1：当流过VT1（VT2）的e极

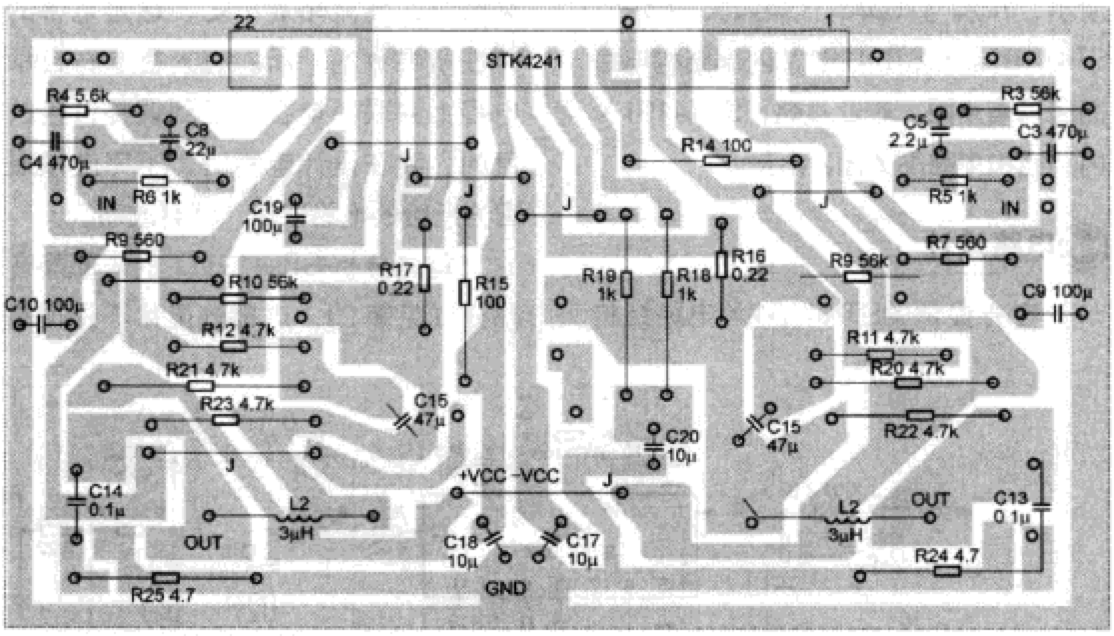


图5 模块出厂资料中提供的布线设计

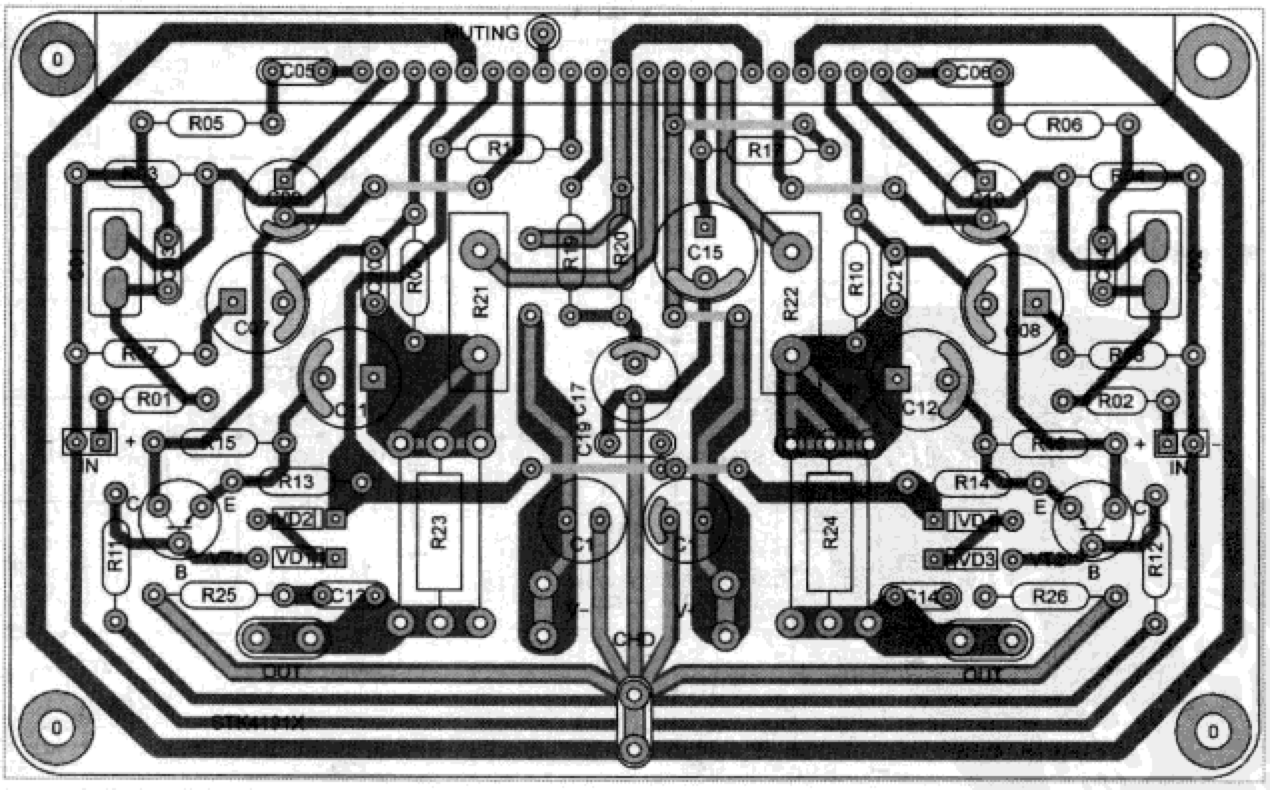


图6 重新布线设计的PCB

电流减小时，R13（R14）上面分得的电压就会比较小，此时三极管b、e极电压就会增加，从而增加三极管e极的电流。

动作2：当流过VT1（VT2）的 e极电流增大时，R13（R14）上面分得的电压就会比较大，此时，三极管b、e极电压就会减小，从而减小三极管e极电流。

为了方便理解，我把恒流源工作状态写成上述两个过程，而实际上电流是动态平衡的，不会出现那种大幅度的变化，所以，其过程只是微微地调整，或者说是同时变化的。

这样一来 7脚和17脚就会有恒定不变的电流流向电流级的负电源，内部三极管也会得到恒定不变的电流。

采用恒流电路可以让三极管流过恒定不变的电流，摆脱因为自举电容自身特性带来的不足， 从而使声音整体更加平稳、自然。就电路来说推动力还是很强大的，有人说之前的STK4191 V 的声音有“不够硬”的现象，之所以“不够硬”应该是自举电路对音色的影响吧。

至于参数，采用自举的时候流过内部三极管电流约为5.5mA。采用恒流之后，电流约为6mA。

STK4191 X 系列作为这一系列的最高版本，其内部（图2）做了很大程度的优化。由V3、R1、VD4、V19、R12、R20 组成恒流源电路，连接差分管V1（V15）、V2（V16）的发射极，可以提高差分输入级的放大倍数，增加信号的共模抑制比。V7（V21）具有隔离和屏蔽作用，使V6（V20）的输出信号不易反馈到输入端，保证激励级的工作更为稳定，进一步降低失真。

图7 加工好的PCB

PCB布线设计

设计的放大器电路能不能出好声PCB布线很关键，有人可能觉得PCB布线不用很讲究，这种观点也是不可取的。对于高频电路以及信号放大电路，每一根线都承担信号的传输。如果输出的大信号反馈给了前面，就很容易出问题的，轻则大信号不耐听，重则可能出现低频交流声、高频自激导致烟花！

图5所示的是模块出厂资料中提供的布线设计，细看其布线，元件排列比较乱，没规律，布线也不是很完美，而且板子尺寸比较大，不够紧凑，浪费了很多空间。于是又重新设计了图6所示的PCB。此板采用单面板近两对称的设计，元件排列也相对平均。整体用了7根飞线，而且都比较短，也还算美观。地线参考PDF资料的环绕设计，并且作了一点接地的处理。电源从中间直接上去，输出在电源两侧，取消了上一版本输出和电源在板子上绕圈的现象，更好地减少输出信号对整体的影响。反馈网络在两旁偏上的位置，反馈基准接信号地。两侧下方为自举部分以及恒流源部分，可以根据自己需要要安装元件。

整板尺寸为122mm×76mm，宽度仅仅比模块宽出一个安装孔的大小，与PDF资料中提供的PCB尺寸相比还是很小巧的。整体结构也很漂亮。总体来讲对这个PCB设计相当满意！

PCB是找工厂加工的，这次装机一共是使用了两种板子，浅蓝色板子用作恒流源版本，墨绿色板子用作自举版本，这样也好区分，见图7。

自举电容用的ELNA棕神，输入耦合电容本想用尼康的无极性电容，后来换成了松下的无极性电容，松下的电容速度更快一些。反馈网络的隔直电容换成了尼康BP 100μF无极性电容，该电容体积很大，成为了一个大亮点。两个钳位电容及旁路用的松下电解电容。另外3个10μF小电解电容用的是ELNA电容。 电阻根据需要选用不同功率的金属膜电阻。恒流部分的三极管用的是MPSA42。

首先把电阻之类的都装上，然后，安装其他小零件，见图8，装上模块之后看上去感觉也不错，见图9。

通电测试

1. 测试自举电路版本的电路

为了电路设计得更美观，整个电路基本上是对称的。当然信号输入也是对称的。但是这样就造成了一个问题，一些分不清楚信号线与地线的朋友很容易接错。于是乎，就把其中的一个插座翻转180° 见图10、图11。当然信号线也要保持一致，以便于配合插座的顺序，见图12。

安装上变压器、电源板准备通电测量。在测量之前先检查电压是否异常，测量变压器输出，电压为交流双29.4V。测量电源板输出，电压为直流双40.8V。没什么问题，准备通电。接上直流接线柱，接

通电源，未见烟花。几秒钟之后也没发现什么异常。测量中点电位：左声道为-3.0mV。右声道为-2.4mV。就中点来看，还是很理想的。测7脚、17脚对地电压，均为-1.32V，工作点没问题，而且左、右声道一致性很好。7脚、17脚对6脚电压均为36.6V。7脚、17脚流入低电平的电流为36.6/（3.3kΩ+3.3kΩ）=5.545mA，接上扬声器，正常开声，感觉很不错。

2. 测试恒流源版本的电路

顺序跟刚才一样，通电，未见烟花。测量一下输出直流，左声道为 -3.9mV，右声道 -2.8mV，一般情况下，输出5mV以下就算比较不错了。7脚、17脚对地均为1.32V，7脚、17脚对6脚均为35.1V，则R13、R14上的电压为0.63V。7脚、17脚流入低电平的电流为0.63/100=6.3mA 。基本与官方提供的自举版本的电路相符，测试通过。

试听对比

1. 恒流源电路版本电路

最明显的就是低频，可能由于取消自举电路改用恒流源电路的缘故，低频下潜不够深，但是坚韧有力。中频很圆润，木吉他及“哼唱”的嗓音都很不错。突出点在中偏下的地方。高频方面，人声高上去感觉不刺耳，三角铁的声音感觉很真实，有穿透力。高频很不错，很自然。总体感觉不错，恒流源版本的没有我预想的那么死板，听起来很有力度。再有，就是感觉唱歌的人口齿比较凌厉，咬字比较清楚。

2. 自举电路版本电路

与恒流版本的相比低频下潜更深。低频松软有力，给人很舒服的感觉。相对来说硬度不如恒流电路（暂且说是硬度好了），与恒流电路相比

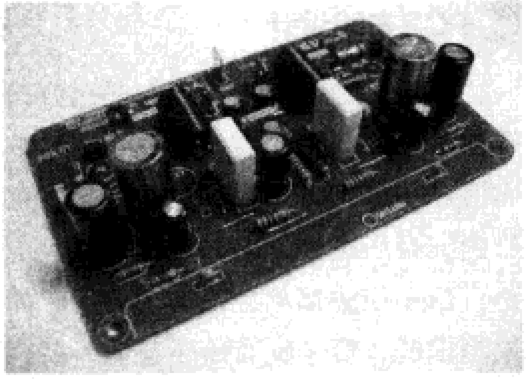


图8 焊接好的电路板

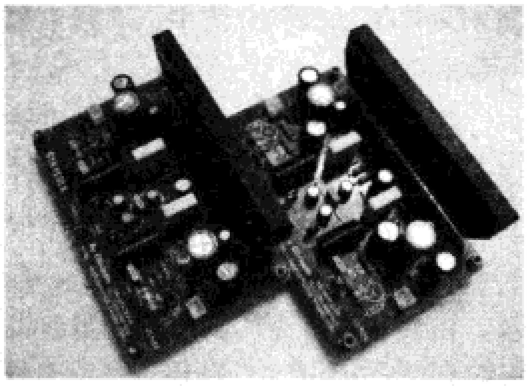


图9 装上厚膜电路

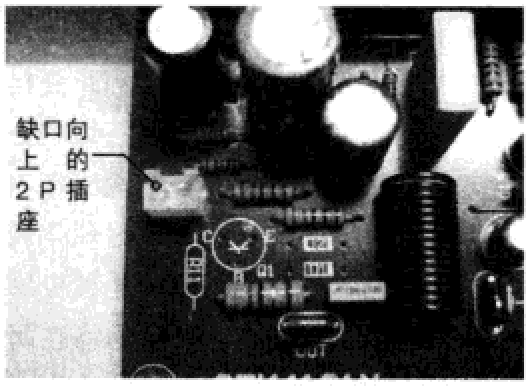


图10 电路板局部

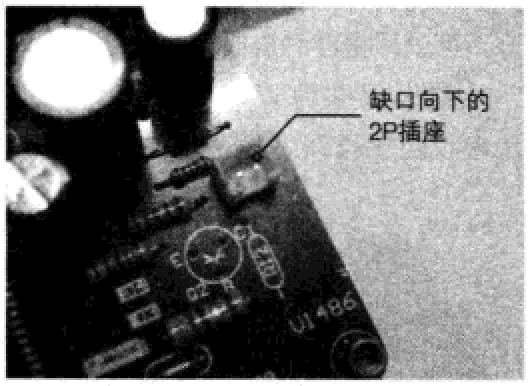


图11 电路板局部

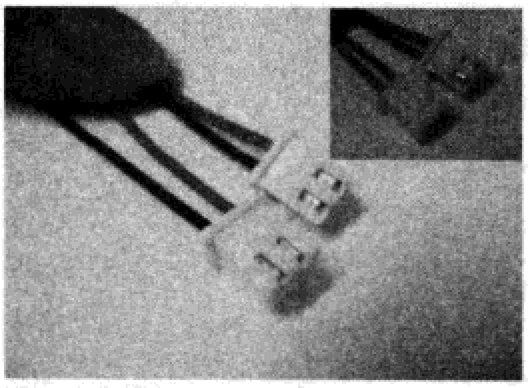


图12 音源插头

是一软一硬。中频很圆润，略微显得有点散。跟恒流电路相比仿佛多了点梦幻的感觉。高频与恒流源版本电路特别对比了一下，人声高上去感觉不刺耳，但是有些虚，三角铁的声音感觉还可以，但是综合起来听高频不是很开阔，不够自然。这也可能是一些朋友鄙视自举电路版本的原因。

综合起来，自举电路版本的低频松软，下潜深，有弹性。恒流源版本的相对比较硬，力度方面都差不多，一种是软力，一种是硬力。软的感觉更好一些。中频，自举版本感觉比较散，但是听起来比较舒服，很放松的感觉。恒流源版本的中频整体收的比较紧，清晰通透。高频方面，恒流版本的比自举电路版本的来的自然，感觉也比较好。总的来说，自举版本的偏重低频，音色比较独特。恒流源版本整体比较平衡，高频比较自然。喜欢低频的朋友可能会比较喜欢自举电路版本，而我相对比较喜欢恒流源版本的。

STK4191 X 与 STK4191 V 相比，X 系列的听感更好一些。在发热方面，这次采用的散热器比较大，桌面音箱在中等音量时散热器保持在体温。总体来看，X 系列比 V 系列发热量大一些。但实际上，不管是 X 系列还是 V 系列，两者的发热量都算比较小。在推动力方面，X 系列的更强大一些，STK4191 V 在8Ω下使用直流双36V供电，如果推4Ω扬声器要达到50W×2，必须降低供电电压至直流双33V左右，但STK4191 X推4Ω扬声器时可以直接上直流双45V，这点足以说明 X 系列的管子更猛力。

在线路方面，PCB布线以及元件结构都比之前的18脚的STK4191 V强不少，而且目前的板子可以直接用18脚的模块，并支持恒流源和自举电路两种版本的线路。总的来说这两个版本的线路我都满意，有兴趣的爱好者不妨一试。

音箱基础知识

亥姆霍兹共振腔与倒相音箱的原理

◎曾念民

我们了解扬声器通常会在低频段产生谐振（共振），假如我们想要空气产生“共振”，该如何办呢？我们懂得振动系统通常包括一个弹性元件和一个质量元件，而空气这家伙挺“拽”的，仗着自己是“气体”，不受管束，根本不把我们放在眼里，而我们又无法在空气身上装个弹性元件，让它产生共振。

但是有位仁兄也不是好惹的，终于想出了一个好办法，用了一个巧妙的装置能让空气共振。这位仁兄先用个有一定容积的空腔将空气装起来，然后在空腔上开个小孔，再插上一根管子当弹簧用。该装置号称：“亥姆霍兹共振腔”，这个名称也太长了，神啊！请饶恕我对先辈的不敬，为了方便以后的描述，我们就简称为“共振腔”吧，这个共振腔是如何工作的呢？

假如我们用一个吸尘器将共振腔内的空气吸出，空腔内空气被抽出后成为真空状态（图1）。

当我们撤掉吸尘器后，在空腔外面大气压的作用下，空气急忙补充进空腔内。由于管子内空气的运动有惯性，空腔内的空气又具有弹性，外面的空气补充进来会多一些，造成空腔内的气压增高（图2）。

空腔内气压增高后，又需要把空气排出去一些。在排出空气的过程中，由于管子内空气运动的惯性，还是排出去的空气又多了一些。尽管这样的过程反复多次，空气每进出一次共振腔都需要消耗一些能量，当能量耗尽后共振腔内的气压和外面大气压一致时，空气才停止运动。空气在共振腔内不断地反复进出多次运动才停止，可见这和质点振动实质是一样的。由此可知，通过空腔，我们把无形的空气“抓”住，通过管子就好比我们在空气的身上装了个“弹簧”，最终让空气受控制而振动起来。假如吸尘器每次吸气的频率和共振腔的共振频率一致时，共振腔内的空气就会产生共振这一现象。

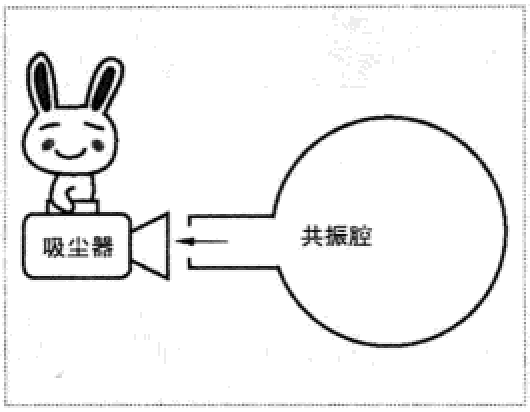


图1

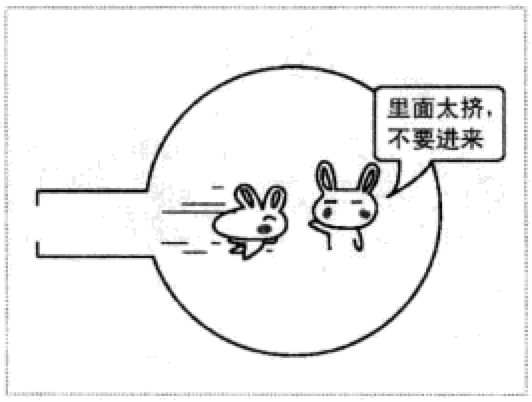


图2

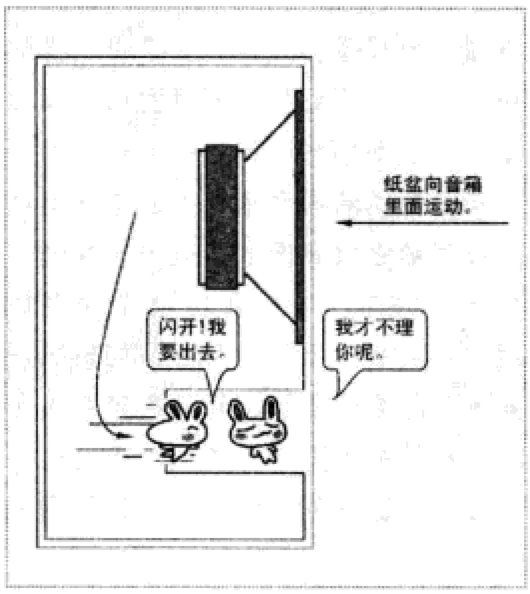


图3

倒相音箱工作原理就是将共振腔的吸尘器换成扬声器，共振腔换成音箱，共振管换成倒相管，共振腔的共振频率替换成倒相管的共振频率。假如扬声器的共振频率和倒相管的共振频率接近，当扬声器共振时，倒相管也产生共振，但是倒相管内的空气运动是和扬声器纸盆背面的运动方向相反，与扬声器纸盆正面的运动方向相同，给扬声器纸盆运动加了个很大的负载。两个共振体共振频率接近，但振动方向相反，这个现象称为“反共振”。

为了更好地理解倒相音箱的工作原理，我将其工作过程分为三个状态。

第一，密闭状态：扬声器纸盆的振动频率高于或低于倒相管的共振频率时，倒相管无共振，倒相管不起作用，相当于一个密闭音箱，这个状态称为“密闭状态”（图3）。

扬声器纸盆振动频率高于或低于倒相管的共振频率，当扬声器纸盆向音箱内或向音箱外运动时，会将音箱内的空气压出或吸入倒相管，但由于音箱内空气的运动频率和倒相管共振频率不一致，倒相管不共振，阻止了空气的进出，这时的倒相音箱相当于一个密闭音箱。

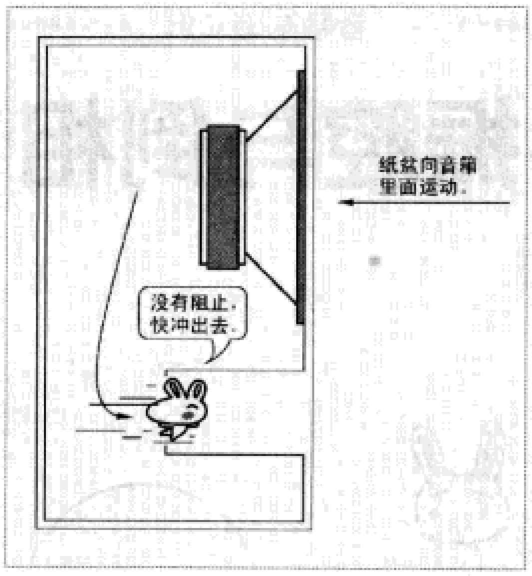


图4

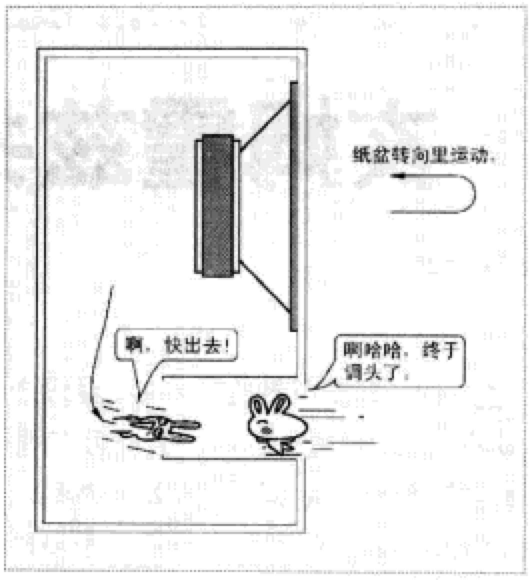


图6

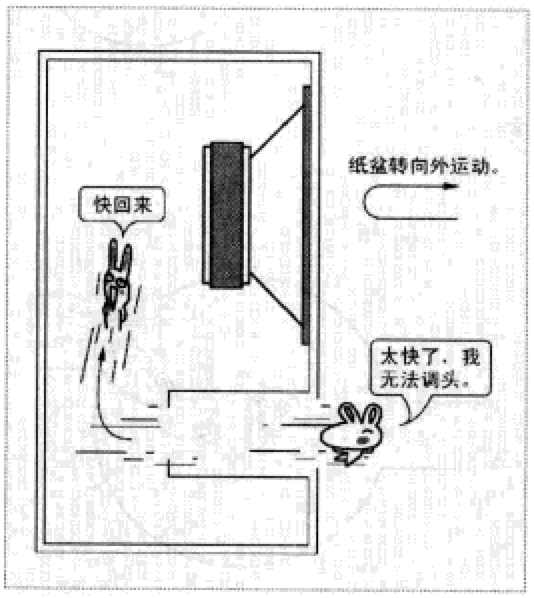


图5

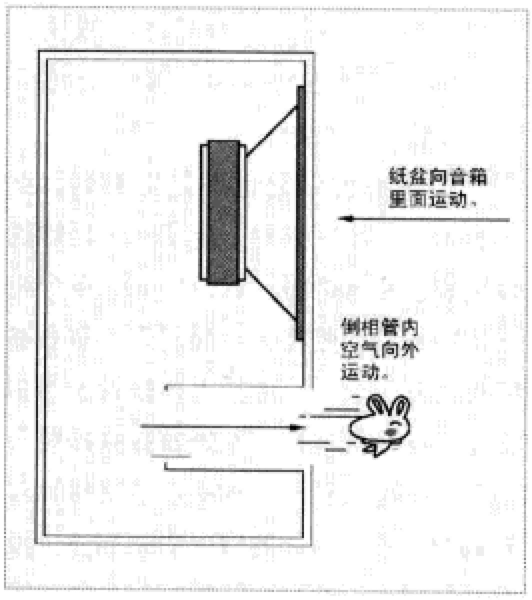


图7

第二，反共振状态：扬声器的振动频率与倒相管的共振频率一致，倒相管内空气将产生最大共振，倒相管内的空气进出最为顺畅。

当扬声器纸盆转向外运动时音箱要吸进空气，但由于倒相管内空气运动的惯性，倒相管内的空气还是继续向外运动，造成倒相管内的空气跟不上纸盆的运动。

当倒相管内的空气好不容易调头转向里运动时，扬声器纸盆也转向里运动，又将音箱内的空气压出倒相管。倒相管内空气的运动跟不上扬声器纸盆的运动，总是慢了半拍，倒相管内的空气运动的方向被倒相了180°，这也是倒相音箱称呼的由来（图4、图5、图6）。

由此可以容易地理解：在反共振状态，倒相管内的空气运动方向和扬声器纸盆正面的运动方向相同，声音会相互叠加，此时音箱排气量等于扬声器排气量加上倒相管排气量。扬声器只需要很小的冲程就可以得到很大的排气量。由于排气量的增加，使得低音得到了加强，这是倒相音箱能大幅改善扬声器低频的原因。在反共振状态，倒相管内的空气运动与扬声器纸盆背面的运动方向相反，相当于给扬声器纸盆背面加了一个很大的负载，造成扬声器阻抗降低。

第三，声音短路状态：扬声器纸盆振动频率稍低于倒相管的共振频率，倒相管依然会产生共振，倒相管内的空气也可以顺畅地进出。

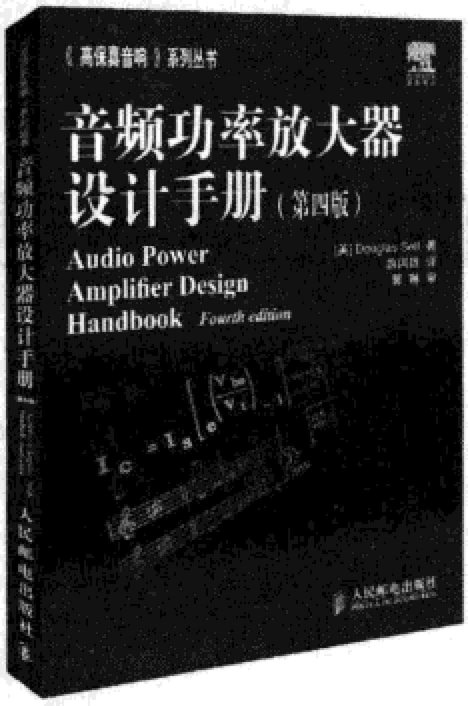
扬声器纸盆向音箱里面运动，倒相管内的空气被压出向音箱外运动，当扬声器纸盆转向音箱外运动后，由于扬声器纸盆振动频率比倒相管共振频率低些，倒相管内的空气可以跟得上纸盆的运动，也及时地被吸入转向音箱内运动，不会被倒相（图7）。但倒相管内空气运动方向和扬声器纸盆正面的运动方向相反，声音会相互抵消。此时音箱排气量等于扬声器排气量减去倒相管排气量，由于排气量的抵消，即使看见扬声器纸盆振动幅度很大，但我们却听不到有低音产生。在声音短路阶段倒相管内的空气运动与扬声器纸盆背面的运动方向相同，相当于减轻了扬声器纸盆背面的负载，造成扬声器阻抗升高。如果扬声器振动频率低于倒相管共振频率太多时倒相管将不再产生共振，空气也无法顺畅地进出倒相管，又回到了密闭状态。

倒相音箱是很实用的设计，只不过是很简单地在音箱上开个小孔，装个管子就可以大幅改善低频，无论是天价名贵的音箱，还是几十元廉价的塑料音箱，都能明显地感受倒相音箱改善低频的效果。我们通过学习得知，在倒相管共振频率附近，会有两种截然不同的状况，一种是对扬声器低频有改善的反共振，另一种是对扬声器低频有害的声短路，在如此窄的频段内仿佛从天堂掉入地狱。如何充分利用好反共振阶段来改善音箱的低频？如何又尽量消除声短路给音箱低频带来的劣化？这是倒相音箱设计的难点。由此可知，倒相音箱可不是这么容易设计的，更不是简单地将两阻抗峰对齐就万事大吉了，考虑的因素要比密闭式音箱多出很多。

浅析两本国外音频功放名著

◎薛国雄

目前在国内外图书市场上，详细介绍音频功率放大器设计的专著屈指可数。近期人民邮电出版社从世界著名出版集团爱思唯尔引进出版的《音频功率放大器设计手册》和《高性能音频功率放大器》均是国外这方面的名作。虽然这两本书都是围绕着音频功率放大器而写的专著，但它们侧重点有明显的不同，作为这两本书的译者，我简述一下这两书的特色和主要区别。

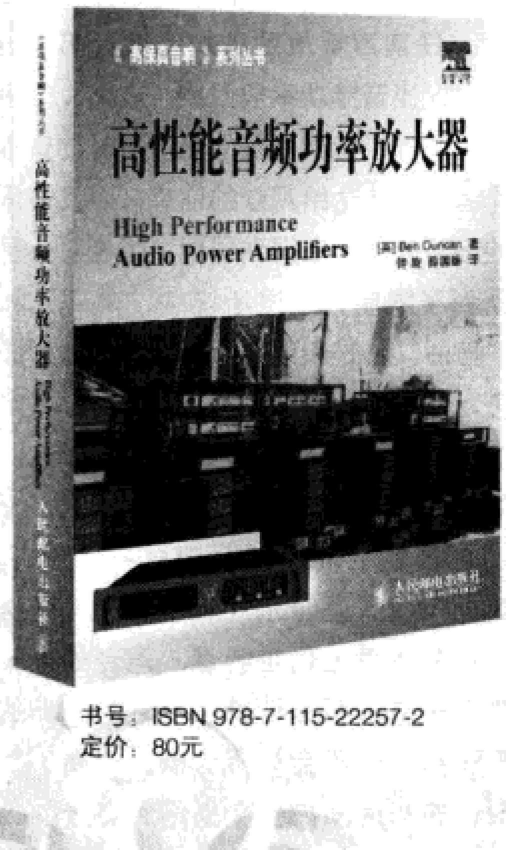


书号：ISBN 978-7-21385-3
定价：80元

《音频功率放大器设计手册》从电子工程的角度切入，全面论述了功率放大器的工作原理和电路设计思路，重点分析经典功放的电路特点，深入研究关键的性能指标及其改善提高的方法技巧。其中对多达8种功放失真的开创性挖掘研究，是功放设计领域的重要成果，备受国外功放爱好者的推崇。该书作者Douglas Self电子理论功底深厚，全书论述严谨、慎密，尤为可贵的是，他敢于直面当前充斥音响发烧友耳畔的各种“玄学”之论，在开篇第一章就从理论上予以一一批驳，对于广大读者清醒头脑、找寻功放设计乃至音响设计的正确路向，无疑极具参考价值。该书可谓是音响设计者之书，是研发制作音频功率放大器的宝典，可供电子工程师、音响工厂技术人员、音响制作爱好者以及音响从业人员、维修人员作参考。

作者背景

Douglas Self是功率放大器设计方面的权威学者，他在功放设计领域的研究严谨和精深，他有多年从业经验，在《电子世界》（Electronics World）和《无线世界》杂志上发表过许多文章。Douglas Self希望制作完美、无失真的功率放大器。为此，他寻找失真的来源、检测手段，以及减少失真的设计思路。他的设计理念是，基于电路原理和实验数据，综合实践经验。他希望借此书能使音频功放设计不再显得那么神秘。



书号：ISBN 978-7-115-22257-2
定价：80元

《高性能音频功率放大器》则是专业音响方面的专门读物，写作对象是舞台、公共扩声、演播室等用途的高品质功放，从用户的角度切入进行写作。重点介绍这类功放的原理、结构和包括听音在内的性能测试，以及如何进行选型、配接、使用和维护。该书作者 Ben Duncan 是一名资深的专业音响工程专家，开办由他本人名字命名的研究中心，并推出了高性能专业功放性能指标的一套测试标准。全书通俗易懂、涉及面广、综合性强，即使没有经过系统电子理论基础知识学习的读者也能了解掌握其中大部分内容。该书可谓是专业功放的使用者之书，是权威性的综合论著，可供专业音响从业人员、音乐制作人员、舞台歌厅技术人员以及广大音响爱好者作参考。

作者背景

Ben Duncan 是音频设计领域的顾问和模拟电路设计师。他有多年的从业经验，因而能从独特视角看待这个复杂而又深具价值的产业。本书是尖端技术的结晶，是功放设计艺术历史上一块新的里程碑。在功放领域，不论是在专家，还是爱好者的圈子里，Ben Duncan 都蜚声全球。他在音乐技术方面广泛著述，曾在美国和英国出版界发表。他设计了几款著名的专业功率放大器。1977 年以来，他参加了70多种音频产品的设计工作。这些设计广泛运用于录音棚、演播室和俱乐部等，经受住了最苛刻的大众听者的考验。除此之外，他也一度为杰出的音乐家提供定制器材。

Ben Duncan 生于伦敦，曾广泛游历。多数时候，他住在林肯郡那个有150 年历史的家里。他曾两次合作编写《摇滚器材》一书，讲述摇滚用功率放大器的发展史。

新书节选

编者按：

《高性能音频功率放大器》一书于今年3月出版，本书介绍了模拟电路、声学、热学和音乐等技术知识。根据作者数十年的专业经验，讲解了高端高保真音响、专业功率放大器在录音棚里的运用。

本期我们节选该书第1章中关于音频功率放大器基础知识方面的内容，从这部分内容我们可以看出，作者是从电声学的基础知识入手阐述高保真音频功率放大器设计理念的。

◎钟旋　薛国雄译

音频功率放大器的主要问题

在音质方面，一位国际知名的作家和评论员曾这样评论道："在那些电子工程教材里，音频功率放大器的原理被写得简单明了，跟射频电路比起来没什么大的不同……理论上，功放的任务很简单——只是将音乐信号忠实地放大。但事实上，我从未见过这样完美的音频放大器。实际的功放要么是调低了最大音量，要么在较低音量下声音模糊，要么是音场扁平，牺牲了立体感……又如，破坏扬声器发出的音调的平衡……或者让声音的金属感更强，或无法控制低音而导致'隆隆'声，或令重放声不够生动自然，诸如此类。简单地说，就是给原有的音质带来了损害。"

音频的概念

在这整本书里，"音频"、"音乐"或"演奏"指的都是"音乐重放，音乐制作或现场扩声"。除了常用的乐器声和电子声响，"音乐演奏"还包括语音、喘气声、鸟叫、街道嘈杂声、声纳的"滴滴"声和恼人的"咯咯"声，以及任何可以加入音乐的声响。

在"音响系统"和"声重放"的领域，"声音"与"音频"是同义词。

音频的特点

我们一般谈到的音频功率放大器都是用于音乐重放的，不过，这些功放同样可用于语音重放。在一些场合，如宗教仪式、话剧、诗歌和圣歌朗诵中，语音的清晰度和细节都是很重要的。

从人的意识角度讲，上述这些均可视作音乐的变种。音乐之所以重要，是由于它们能超越语言直抵人的内心并作用于意识，最终唤起让人不能抑制的热烈情绪。音乐不仅仅是"令其他艺术向往的艺术"，也是人类距离超然之感最近的接触点。

从人体生理角度讲，人眼与人耳都能在相当大的量度范围内工作，识别影像及声响的差别而不受其损害，这个范围也称动态范围。视觉和听觉的动态范围都超过10亿倍。人眼可以感知单个光子，而当人的耳鼓膜振幅超过一个氢原子（宇宙中最小的原子）直径的时候，人耳就可觉察。

在听觉与视觉之中，听觉工作的频率范围又是人体感觉中最宽的，超过10个倍频程。相比之下，人眼仅对一个倍频程内的电磁波有感觉！

声音的重放是涉及多维空间的问题。在音乐播放过程中，声音大小时刻变化，其量度为声压级（SPL）。在一个时刻，听者对音乐的感知也取决于之前听过的声音。从音乐中可以分解为两个与空间无关的量——时间和音调，这构成两个维度。这两者不能随意联系起来，我们还需要把人们所处的三维空间坐标加入，这又是3个维度。加起来，声重放至少要涉及5个维度。由于我们身处四维时空（3个空间维度，1个时间维度），人的大脑无法感知整个声学景象，每次只能在一点上取得一个片段。这就总体解释了为何传统科学方法停滞不前，没有找出最适宜的音乐重放手段。

声重放系统对音质的影响

任何声重放系统的使用者都应当明白，当音频功率放大器"破坏"或者"扭曲"了代表音乐的电信号时，音乐作者希望传达给观众的信息，以及音乐的细节就都无法得到展现，或者至少是受到了限制。这里所说的"破坏"和"扭曲"就是所谓的失真。失真的形式可以有多种，对应着不同的术语。其中的一些清晰可辨，另外一些则不那么明显，需要仔细辨别。

除此之外，当乐音的表现失真时，不仅仅是音乐难听了，失真同样可能从生理上伤害听者。乐音如果不带有失真，那么即使在高达140dB的声压级下也不会让听者感觉疼痛，同时，在短时间内不会损伤到健康的人耳。人耳损伤及其恶化的祸首是工业

噪声和城市噪声。爆炸声和敲击声的瞬时声压级可以比普通声压计高出达20dB（频谱分析仪器测得的）。因此，失真的声重放系统造成人的短期和长期听力失效的可能性大大地增加了。在这样的系统中，设计不合理或额定功率设定有误的音频功率放大器都可能造成有害的失真。

声重放的目的

从历史上讲，自19世纪末期声音的录制技术发明以来，“理想的”录音设备和声重放设备的设计师的诉求就从来没有变过。那就是：完整记录声音，并在之后的任何时候照着它真实的样子播放出来。为了这个目的，要达到理想中的完美，唯一的技术途径就是：提升设备的精准度，直到能真实展现最敏锐的人耳所能感受到的细节。在西方，这种途径仍然被不正确地命名为“完美厅堂声效”。一种更全面（也许稍显笨拙）的描述应当是“在声学上完美复制出的音乐”。当然，这样的说法也伴随着新的问题，最典型的是“我应当坐在哪里？”电声学上的保真程度和空间位置也有很大关系。在保真录音过程中，需要顾及上面所谈到的、人对于乐音的四维感知，没有哪个因素是可以忽略的。

有些人情愿选择一些带失真的低价声重放系统，包括音频功率放大器。他们为这种选择的辩护理由是，声源到达听者的时候本身就存在失真。这些人不认为音乐带来的快乐那么重要，认为为了提升1%的音质而花费1000英镑一点也不合理。而事实上，一个精准的、完美的音乐带来的快乐是“无法用金钱衡量的”。

其他的一些人会幼稚到希望“抵消”一部分的失真，例如，将一个“慢拍的”声音暗淡的功率放大器与“快拍的”高音清脆的扬声器单体相互搭配。另有一些人，也许是太喜爱酒精和垃圾食品的缘故，沉浸在通常是由胆机制造的悦耳、柔和而轻软的声音里——虽然这样的声音一点也不真实。或许，对于这些人而言，音乐只是次要的享受——他们再也不愿为这多花钱了。

从20世纪60年代摇滚乐等流行以来，在音乐的制作人和听众中间，另一种享乐主义的观点开始流行。他们认为，声重放的目的就在于让人产生兴奋和幸福的感受，并且予以加强，使之越强烈越好。

人的听觉

一小部分人——约占人口总数的千分之一，全球总共约百万人具有超乎常人的听力。与声学和电声学教科书上所描述的普通人相比，这部分人对音乐和旋律的感悟能力在频率、节奏、谐音、延迟、声压级、相位等方面具有超出常人10倍及以上的表现。

例如：有些人对低于4Hz的声信号有所反应。要知道，这个频率属于“次声”范畴，对于一般人而言，这个频率相当于听力下限的五分之一，除了通过骨导传播，没有其他途径可以感受得到。同样地，人们发现一些在音乐上接受了训练的人可以分辨仅仅千分之一的频率差别，区分的频率范围至少可高达10kHz。这意味着，人耳和大脑中负责听觉的那部分可以区分短到100纳秒的两个声信号，也就是一秒的十万分之一。

一些特殊的听觉能力对有些人来说是先天的，但是对另一部分人而言就需要后天的训练才具备。所谓的“金耳朵”能够识别出低达百万分之一的声信号的区别，这样敏锐的听觉有时甚至会使他们晕船。在学术界，研究人员花费十多年的时间才成功地从物理上检测到这些差别，用普通的、简单的测试方法根本无法检测出这些信号。

只要他们具有足够的自信，敏感的听者能够听出他们熟悉的乐曲，并分辨其通过不同设备播放而导致的区别。事实上，即使不考虑一些成熟而简洁的听觉理论（例如，扬声器之间的少许响度差别就可以被听者获知，他们会认为声音大的扬声器听起来更加响亮），人们普遍认为更好的扬声器能够播放出别的系统无法表现的细节。此外，每个音频功率放大器都具有独特的声响特点，使之不同于其他的功放。

作为高保真音响技术的标准，是假定有99%的普通听众能听出声音的差别。但实际上，根据高端音响的实际测试我们获知，普通人中可能只有5%~10%能听出声音的差别，即便使用最佳的音响系统，也只有50%的人能听出声音的差别，而且对特定的声音何为最好，所有人的见解是不相同的。理论上讲，功率放大器应当忠实地放大电信号，而不增添或削减任何东西。世界著名的高端音频放大器设计大师Nelson Pass，曾经提醒过我们，超过一定的限度，就不存在“最好的”功率放大器了，正如我们无法找到最完美的绘画作品或最好的红酒一样。

客观性的局限，主观测试的基础

一种保证精确度的传统方式是，尽量在客观的指标上对扬声器系统加以严格要求，去除误差。不过，这样做的前提是，这些客观的指标能够充分反映人所听到的声信号。多年来，诸如“零失真”以及“极低失真”这样的宣传词蛊惑了消费者，让他们认为声重放本来就应当是完美的。时至今日，仍有不少“客观主义者”期望在这条技术路线上发挥到极致。

这些常规测试的问题在于，测试者就好像是测得房子的四面墙为精确的90°角后，就宣称这座房子“完美”一样，而不顾及房屋的其他方面可能出现的问题——比如混响时间等。有些测试之所以流行，是因为它们更容易进行、更容易利用常见的测试设备，而且设备

的价格也不太贵。但是，实际音质和测试结果之间的联系长期被忽视。即使是当今最现代、最复杂的技术也无法完全测量像音乐这样的声信号。例如，目前还没有实时地能以160dB的动态测量范围覆盖0~ 200kHz频宽的测量系统。英国音频设计师曾经发明了一个公式来描述这个问题：

音乐+录音+重放设备+人耳+人脑=复杂的电声学问题

从20世纪70年代以来，音频功率放大器的使用者往往更相信自己的感觉。除了检查是否达到基本标准之外，他们较少寻求电声指标和测量的准确性。现在，除了纯粹技术上的一些问题，在扬声器设计的各个阶段都要进行主观试听实验。

从理论上讲，功率放大器不应该增添或削减音质的任何部分，而实际上，在利用设备进行客观测试的时候，人们发现对功率放大器的某些指标做出的低于百分之一、有时是百万分之一的改动，就会引起人耳的反应。前面提到的“四维空间”能说明声音的微小变化的重要性，这里再举一个书籍中印刷墨水的例子——通常，500多页的书籍包含了100万个英文单词的内容。但是，与这些内容对应的墨汁可能只增加了书籍的1g重量。因此，如果将重量作为衡量书籍的唯一指标，显然是不恰当的。任何两本不同话题而同样是500页的书，其实质是太不相同了！也就是说，人在阅读的时候，同时就是在识别千万分之一克的差别。这个数量级是很惊人的！

总之，与“工业放大器”的设计相比，即使是最便宜的音频功率放大器，设计者也必须在工程细节上给予细致的总体考虑。

为什么重放音频要用到功率放大器?

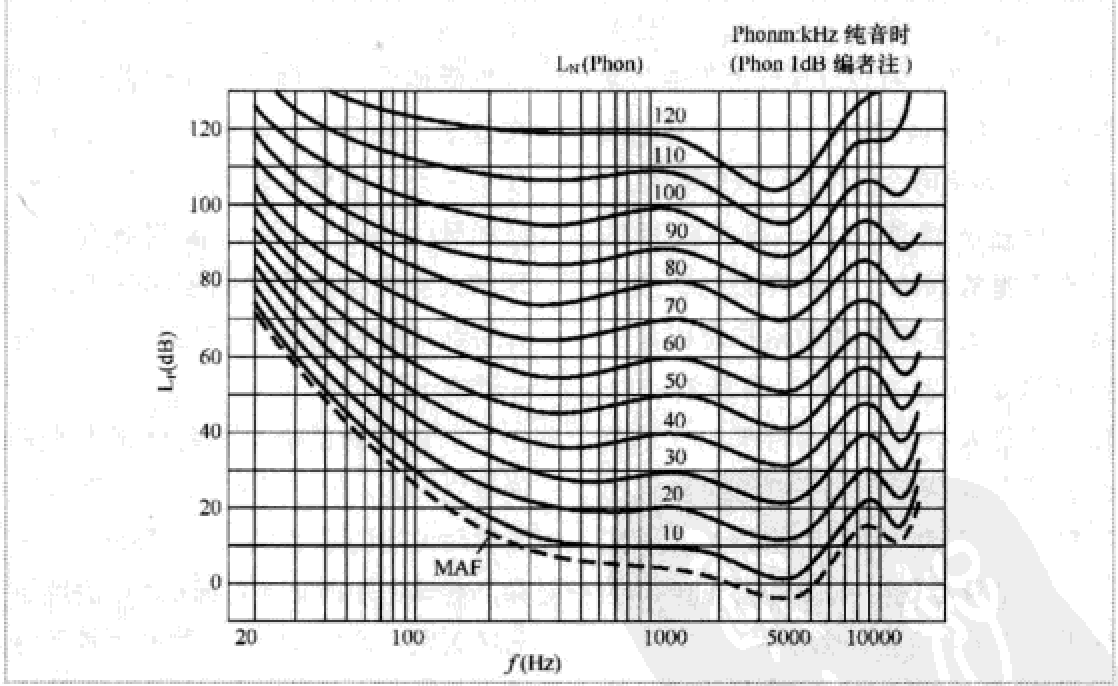
首先，声频信号重放过程所涉及的大多数环节都可以在很低的功率下进行，无论是输入功率还是耗散功率。例如，在信号处理系统中，模拟声频信号的电压一般在100mV~1V。负载阻抗可能高达100kΩ。即使阻抗较低，如低至5 kΩ左右，那么也只有120μW（约为1W的1/10000）的耗散功率。计算起来，要消耗掉1度（1kW时）的电能，需要声频信号处理设备工作800万小时，相当于播放几百年！

另一方面，用于声重放的扬声器是非常低效率的。普通“直射式”扬声器的效率一般在0.05%~1%。相比之下，虽然内燃机受到环保主义者的指责，但是其效率仍然比扬声器的效率高出2500%~50000%。一辆中型轿车一般有70kW的功率，在这个功率下，它可以推动车内的4个人、车内行李以及车本身的重量，也就是至少半吨的质量，并加速到每小时70英里。

在声重放系统中，扬声器的作用仅仅是推动空气运动起来，而这一项工作有时会消耗掉高达7kW的“燃料”。事实上，在典型的室内听音环境中，1声瓦的功率就可以制造出家庭空间实际所需的最高音量，也就是120dB。在另一些不太吵闹的音乐中，最响亮的段落也只对应于0.1声瓦的功率。如果一个扬声器的效率是0.1%，那么需要的电功率就1000倍于此，即输入电功率为100W。

有时，音乐中最响亮的部分对应的声功率远远超过0.1声瓦。现在已有能承受短时电脉冲（音频信号的一般形式）超过5kW的扬声器单元。今天的大多数扬声器单体具有2%左右的效率，因而能发出100声瓦的声压。与“直射式”扬声器不同的“号筒式”扬声器具有高达10%的电声换能效率，在大型专业舞台功放上，可以实现高达500声瓦的输出。声瓦数大的好处体现在，一套大型设备可以选用少数几个大功率扬声器单元，于是增强了音质。

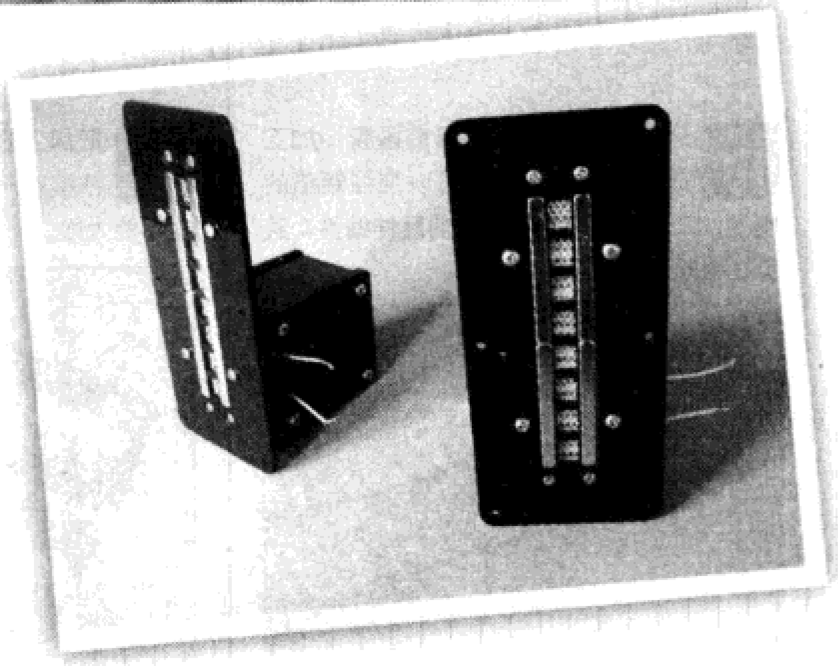
值得注意的是，在比较中频和高频段声信号的时候，信号的幅度每增加10倍，人感受到的响度大约增加1倍。而在低频部分，信号幅度增加3~5倍才可以感觉到响度的倍增。



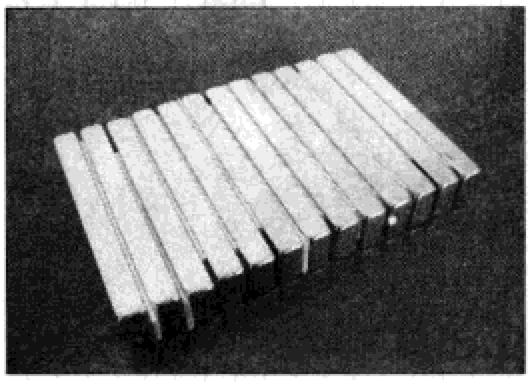
Robinson & Dadson自由场等响度曲线。说明了人耳对于不同频率下纯音声压级的响度判别。该曲线于20世纪50年代在英国国家物理实验室（National Physical Laboratory）做出，比之前20世纪30年代的美国贝尔实验室（Bell Labs）的Fletcher & Munson所作的曲线更精确。即便如此，该图也只是大概说明了纯音响度与声压的关系。纵轴是人耳处的声压级。每条等响度曲线对应的单位则为“Phon”，代表了人体对各个频率的统一的响度感觉，标示在每条曲线上。注意：在中频处的120dB的响度范围，在低频20Hz处被压缩到60dB，在线性坐标下对应一个1000倍的压缩比。3.5kHz处，响度曲线走低，意味着听觉在这里最为敏锐。下方的“MAF”代表安静房间里的人耳听力阈值，不过这只是听力的界限而不是声响的界限。一部分人和大部分动物都能够觉察到比MAF低20dB的声响。

◎倪文贤

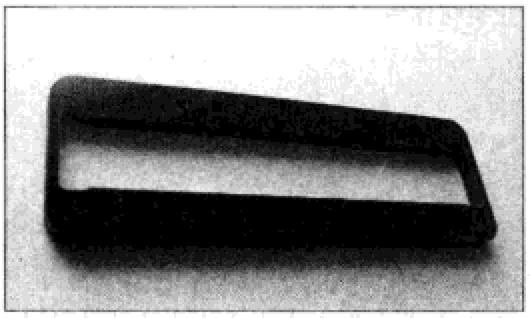
制作一对铝带高音扬声器



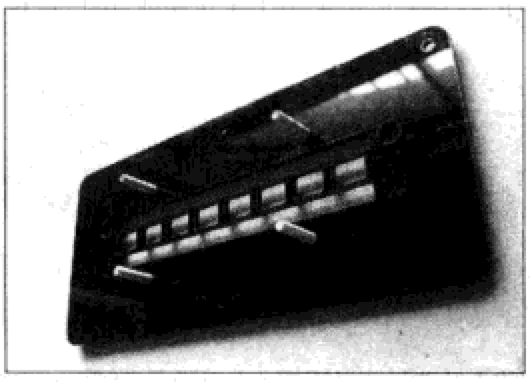
01 购买了十几条强力钕磁体用来构建铝带高音扬声器的矩阵磁路。



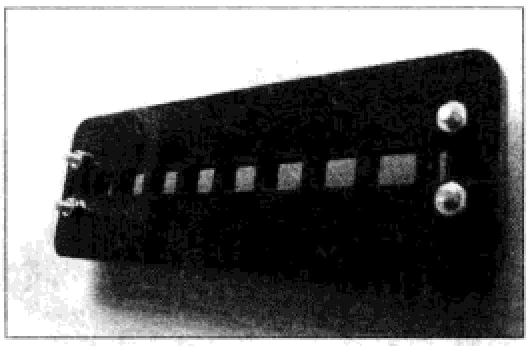
02 设计框架结构，全部使用黑色的亚克力来加工，这是其中一片的内部结构。



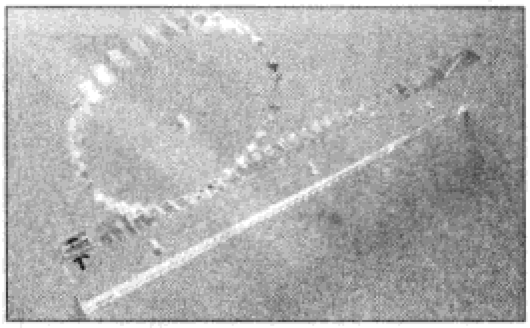
03 这是前面板的结构。



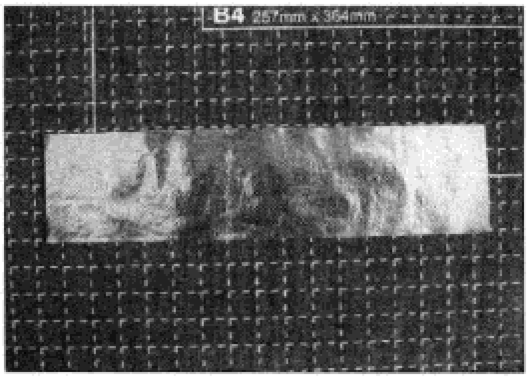
04 这是后部的结构，为了提高加工的精度，我使用了激光切割机来加工所有的零件。



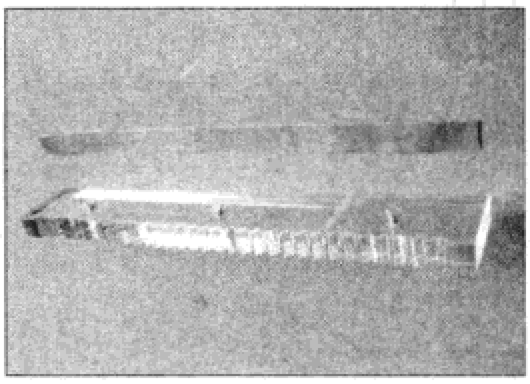
05 这两个齿轮形结构的东西是用8mm厚的透明亚克力加工而成，用来辅助加工铝带振膜。



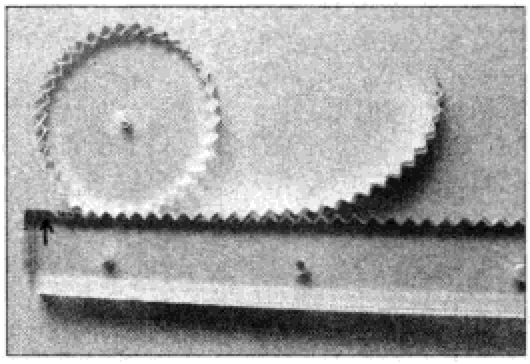
06 找一片厚度为0.015mm的铝箔，轻压铝箔的表面，使它平整。



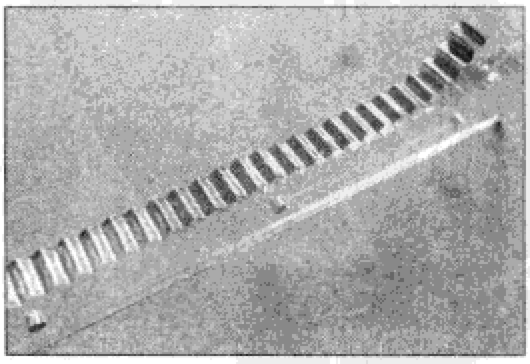
07 把铝箔切成宽度为8mm的条状。



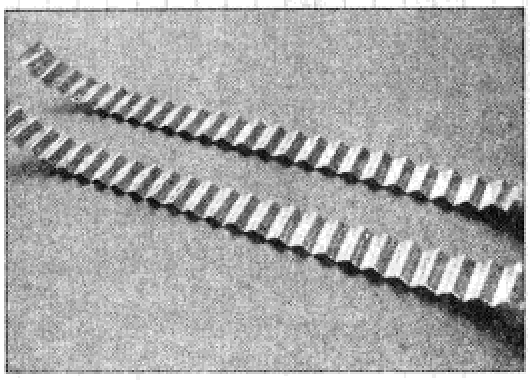
08 放在两个齿轮形模具之间，小心地来回压制成齿轮状。



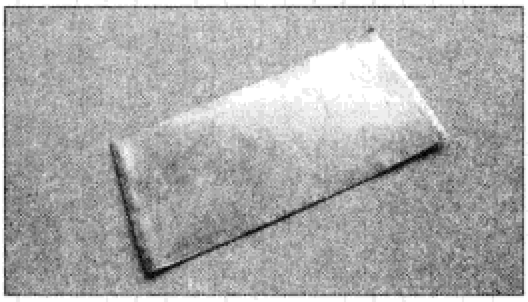
09 把铝箔压成这样的形状，压时必须小心用力，因为铝箔太薄了，很容易在某一节被压断或压伤。



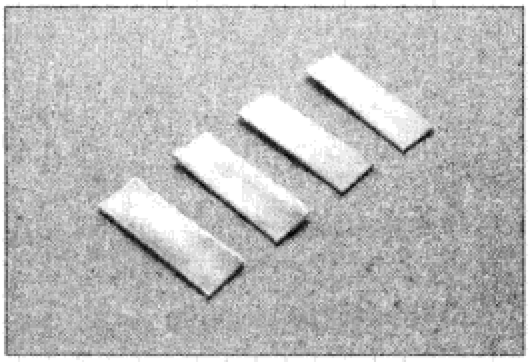
10 这是制作好的两条铝带振膜，加工成这样的形状一是可以加强铝箔的刚性，二是可以加强铝箔的前后伸缩性，避免在振动中受损。



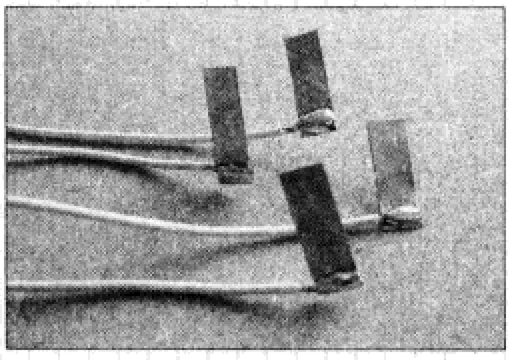
11 找一片铜皮。



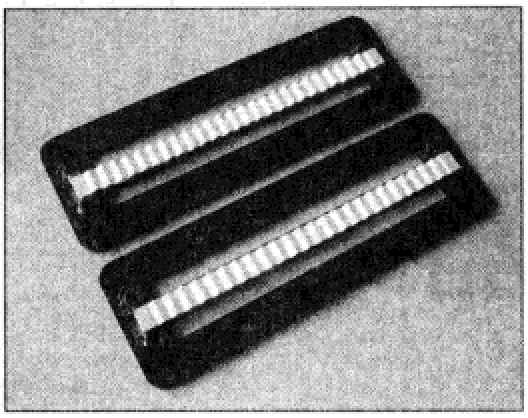
12 剪成4个长15mm、宽5mm的长方形。



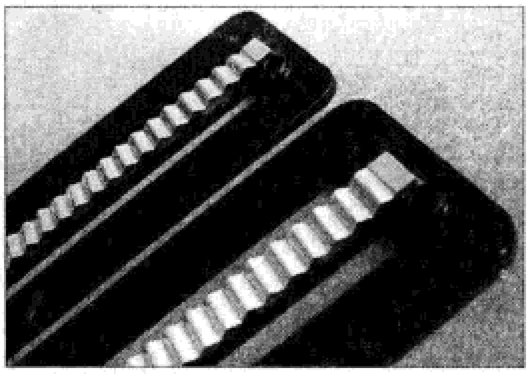
13 把铜皮和导线焊接在一起，这里我使用了镀银导线。



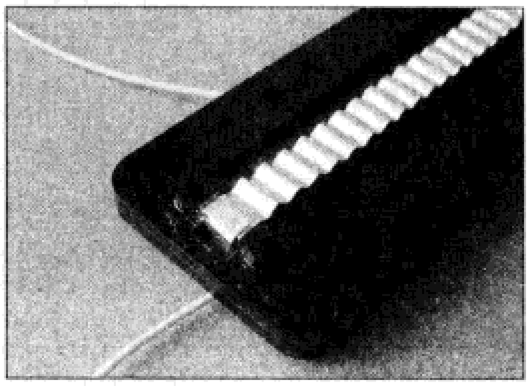
14 把加工好的铝带振膜和亚克力框架粘接在一起，铝带拉得不能太紧，也不能太松。



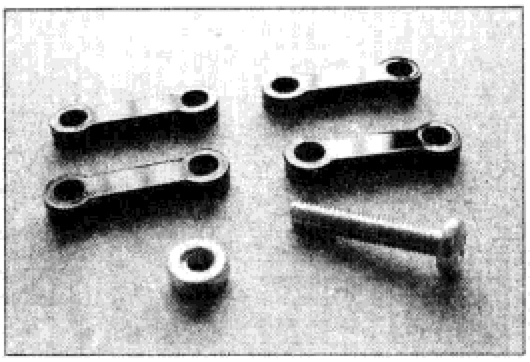
15 粘铝带时，要注意铝带距离下面的一片亚克力为2.4mm。



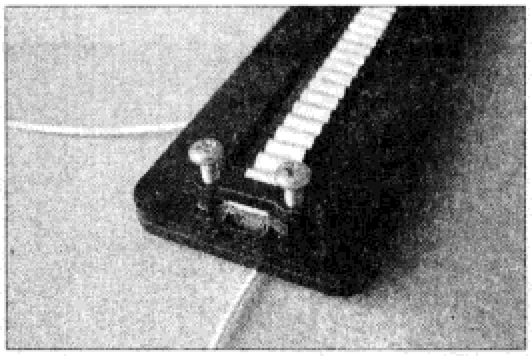
16 把焊好导线的铜皮从下部的开孔穿入，弯出一个面和铝带接触。



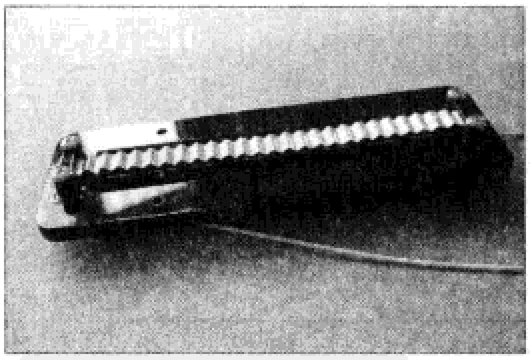
17 加工了这几个很小但却很重要的零件，激光切割机的精度真是不错。



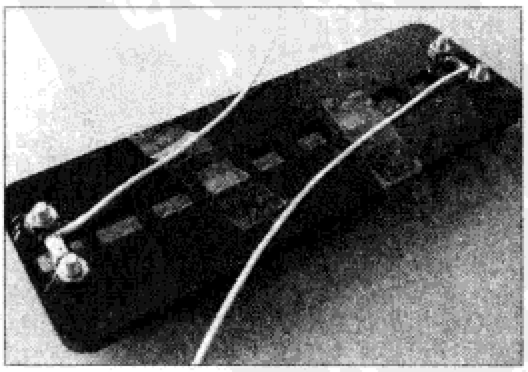
18 用这几个小零件压住铜皮和下面的铝箔。



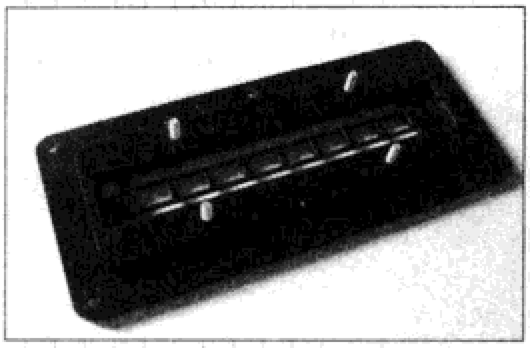
19 拧紧螺丝和螺母，不能拧得太紧，不然有可能把下面的铝箔压断或压伤，然后要把铜皮与铝箔接触面的周边都用环氧树脂密封起来，目的是与空气隔绝，防止氧化作用。



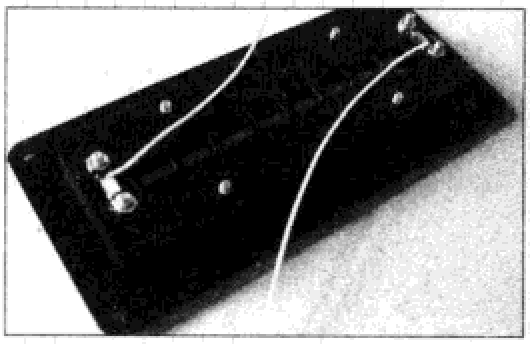
20 看看背后的情况，把后面的导线用透明胶带暂时固定住，然后用胶把铜皮和亚克力粘牢。



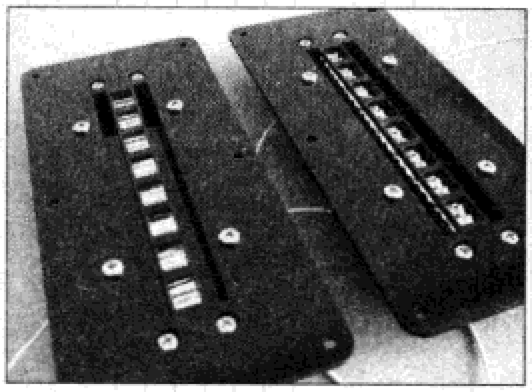
21 把前面加工好的这两个零件用3mm直径的螺丝把它们连接在一起。



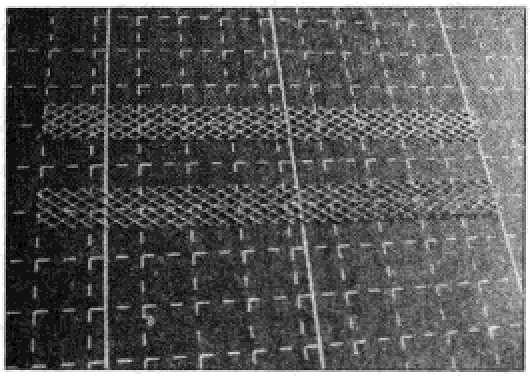
22 把装有铝带的那片亚克力放入，合并在一起，拧上螺母。



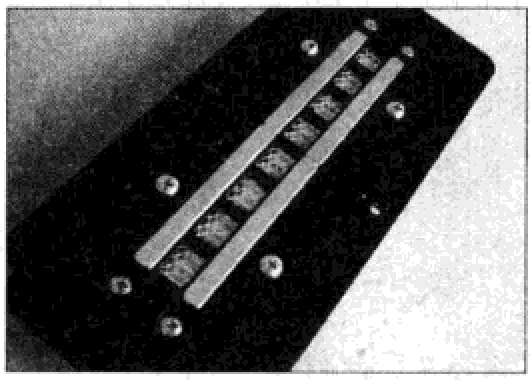
23 这是装配完成后前面板的样子。



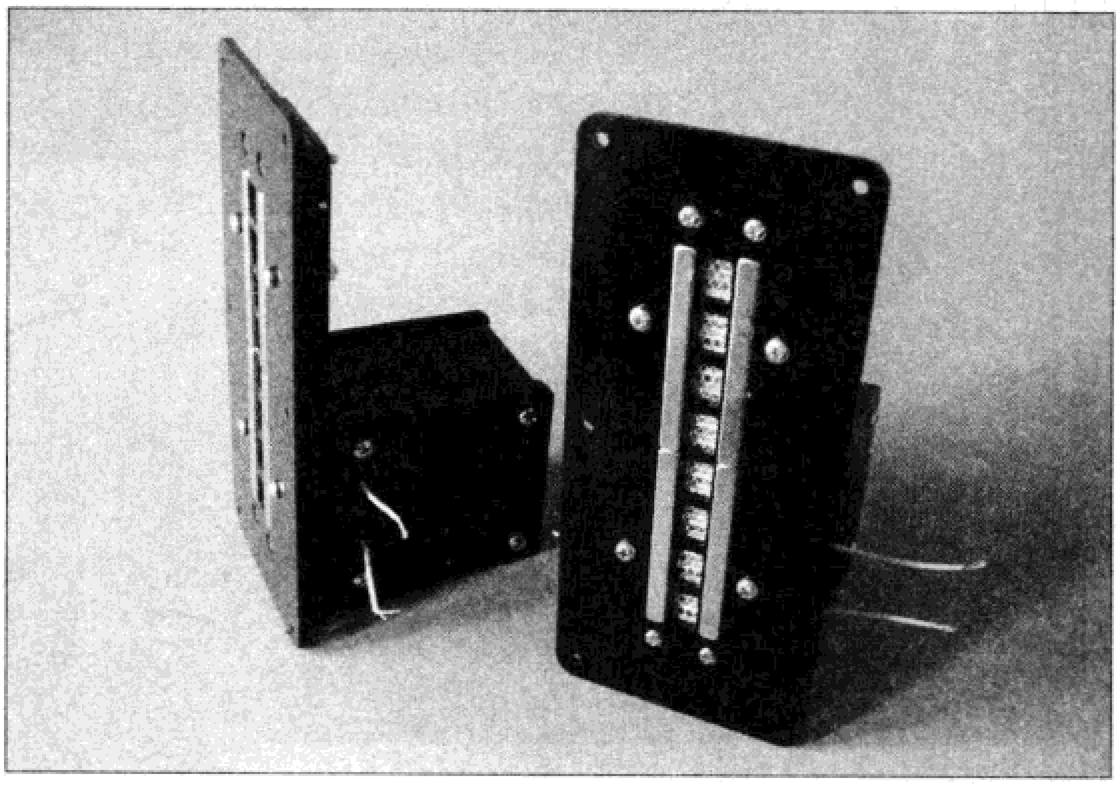
24 把铝合金滤网剪成条状，尺寸比铝带振膜略大一圈，用来保护铝带。



25 粘上铝合金滤网，然后把强力钕磁体嵌入到前面板里组成矩阵磁路。当钕磁体完全放入后，铝带振膜正处于磁路的中心，这些尺寸都是事先计算好的。



26 这是最终完成的一对铝带单元，因为阻抗太低，铝带式单元的振膜不能直接用功放驱动，否则会烧掉功放，一定要外接一个变压器来转换阻抗，同时还要串接上一个大小合适的电容才能与功放相连接，后面的方盒子里装的就是一个阻抗转换变压器。

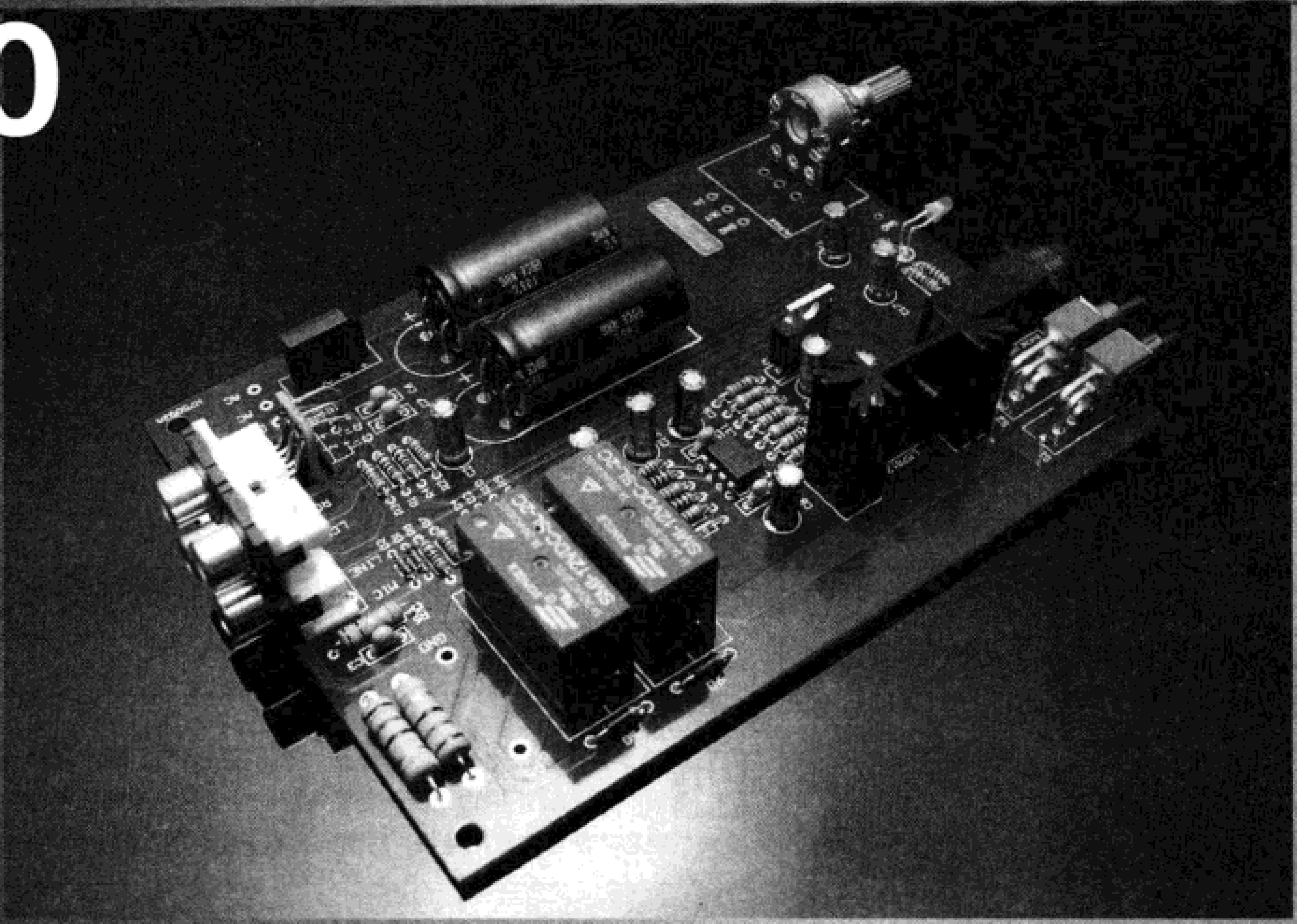


铝带扬声器

铝带扬声器是把一条非常薄的铝箔放置在永磁场中作为音圈，同时也作为振膜。当交变电流通过铝箔时，就产生电磁场，该电磁场与永磁场互相作用、振动发声。这种扬声器的优点是振膜的质量非常低，同时振膜又是音圈，所以反应速度极快，能更好地表现声音的高频与细节，一般多用于高音扬声器，但因为阻抗非常低，所以铝带振膜必须接上一个阻抗变换器后才能使用，同时还要串接上适当的电容后才能接上功放发声。

2010新版音箱测量套件

◎邹志扬



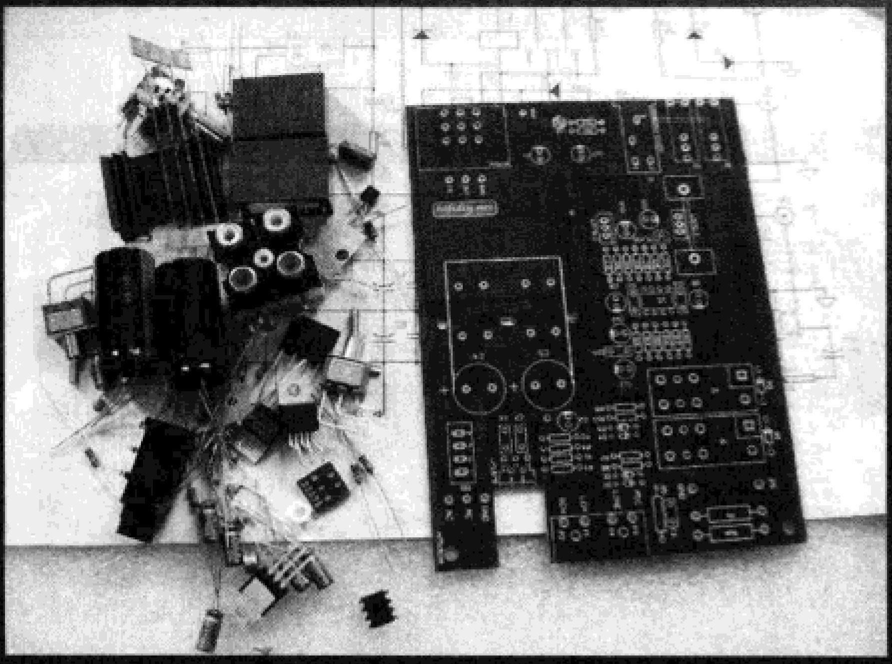
2010新版音箱测量套件是中国音响DIY根据老版音箱测量套件的用户反馈及要求改进设计的一款业余音箱测试仪器，是DIYER制作音箱的好帮手。

新版套件采用一体化双面PCB设计，简化了安装及操作，更换了部分接插件及开关，提高了使用可靠性。下面用图文详细介绍此套件的安装与调试。

套件中包含一片PCB、一张电路图（见附图）以及一个元件包，元件包中一个非常重要的元件就是测量用的MIC，型号是松下WM61。

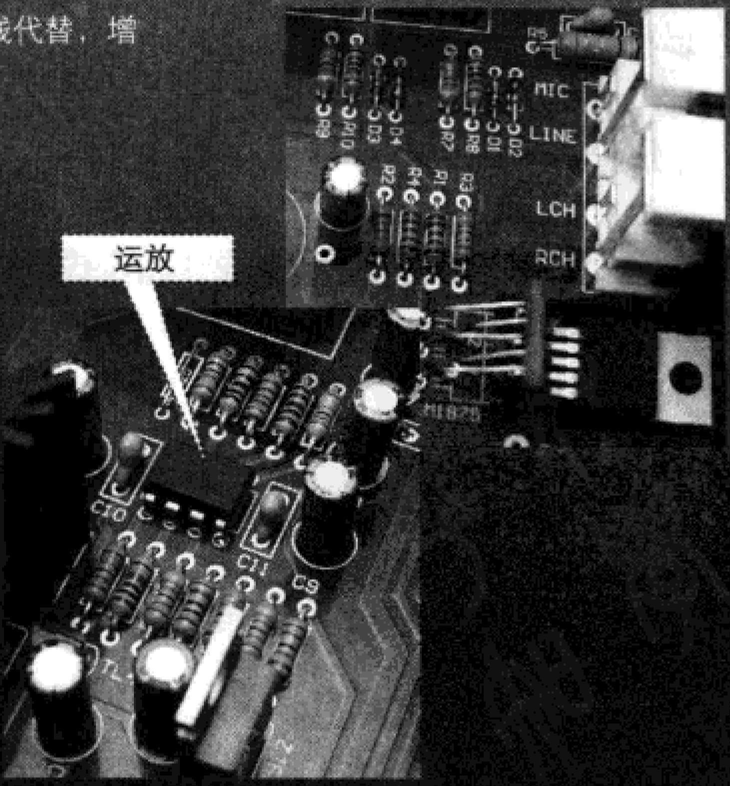
元器件的安装以及焊接

请按照元件表及校对电路图后进行元器件的焊接：先焊接电阻、二极管等小元件，再焊接运放、电容等高度略高的元件，最后焊接接插件、继电器、开关、电位器、散热器等高度比较高的元件（注意：电阻R25默认为0Ω，用跳线代替，增大R25可以增大话筒的放大增益）。

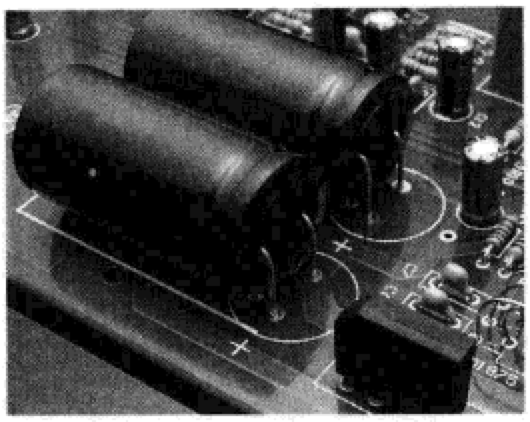


以下几点请一定注意：

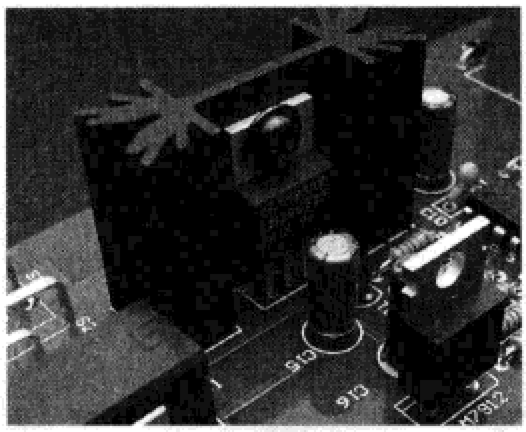
01 4个稳压二极管以及运放NE5532要注意安装的方向。



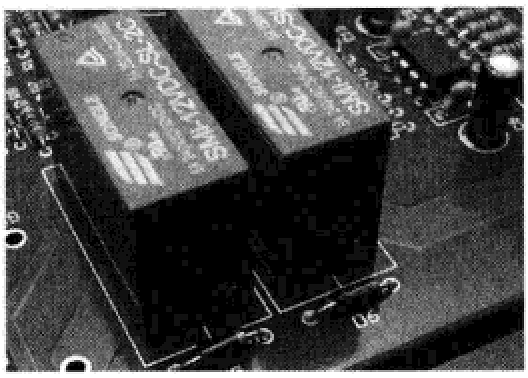
02 所有的电解电容要注意安装方向，装反了，电容是可能爆炸的。



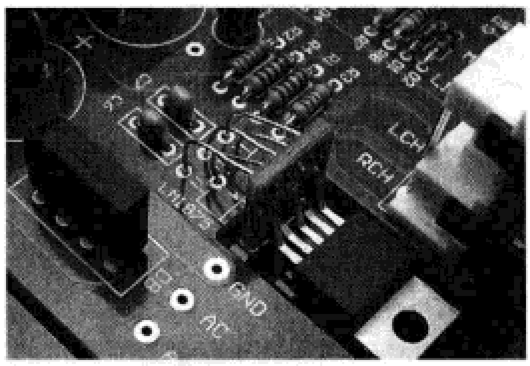
03 三端稳压7812、7912要对号入座。



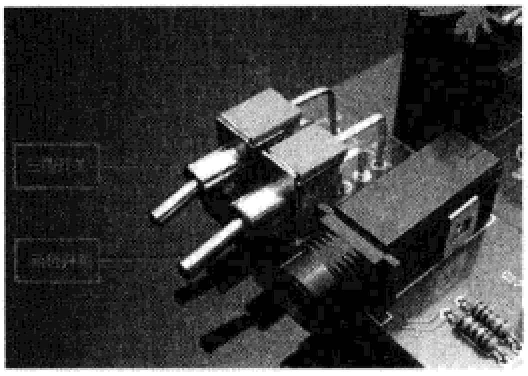
04 注意续流二极管的极性。



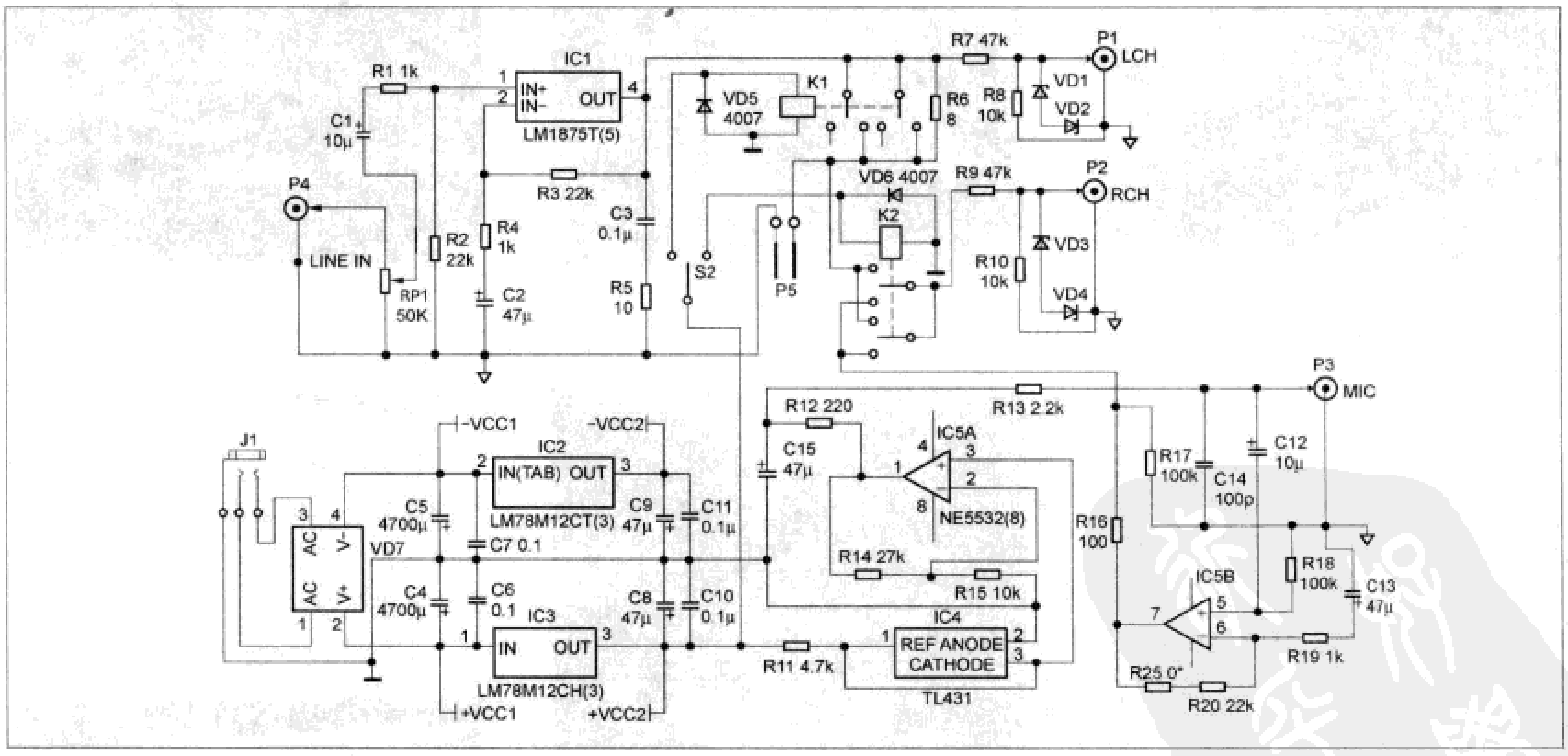
05 LM1875的各引脚的引线之间一定要注意绝缘，采用裸线要注意保持线间距离，建议采用绝缘外皮的导线作为引线。



06 开关部分有一个是三挡的，实现校正、阻抗测量、频响测量这三个功能的切换。另外一个两挡开关是控制后面接线柱上负载的通断，请一定注意三挡开关与两挡开关的位置，千万不要搞错。



在通电检查各工作点电压之前，需要给LM1875装上散热器。我们就以采用MINI USB DAC同类外壳的套机为例，采用转接PCB焊接LM1875，并把LM1875锁定到一片小型散热器上，散热器不要碰到PCB上的任何金属部分，这样才能开始通电测量工作点。



电路图

套件销售

套件价格：99元/套+15元邮费

购买方式：1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明测量套件和汇款人电话

2.淘宝店购买：http://boqu.taobao.com

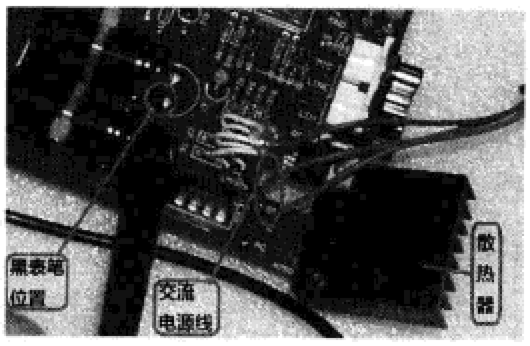
工作点的测量

需要测量的工作点有 4 处。

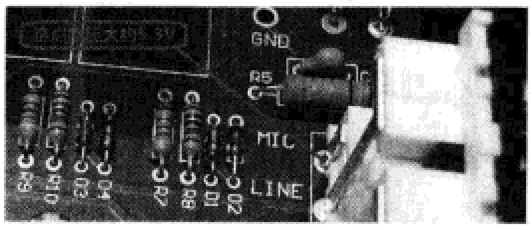
首先我们按照PCB上的标记焊好变压器的次级绕组引线，这里建议的变压器的次级电压不超过交流双18V，在双15V到双18V之间比较合理。通电之前，建议再次检查元件有没有漏焊或错焊。

通电后，我们首先看到绿色的LED亮起来，然后检查PCB上各处有无冒烟、异味等状况，如有异常立即切断电源，检查故障。一般情况下，通电1分钟左右，如无异常，基本就没有大问题。然后用手摸一下LM1875的散热器，应该不会烫手，这样，我们就可以准备测量工作点了。

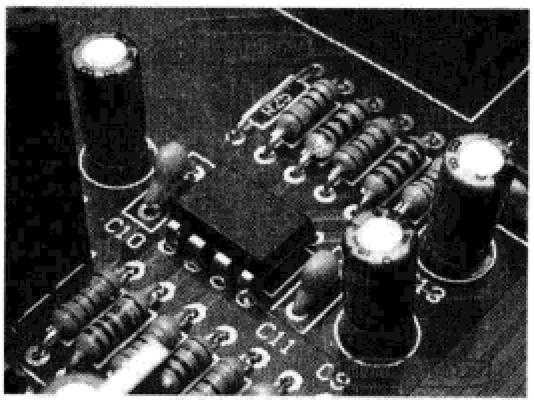
接下来，我们把万用表打到直流电压挡，把黑表笔置于PCB上的接地点位置，可以是主滤波电容的接地的引脚上，然后用红表笔接触其他每一个测量点。



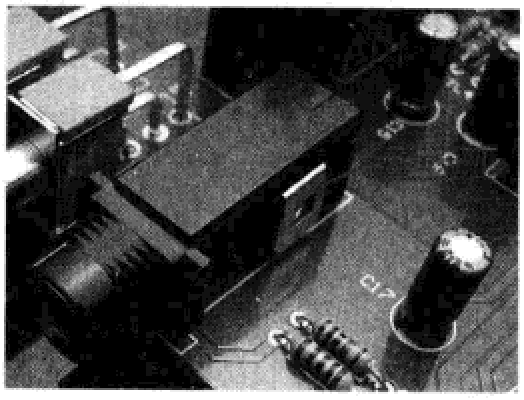
第一个测量点是MIC的供电电压，大约是5.3V。



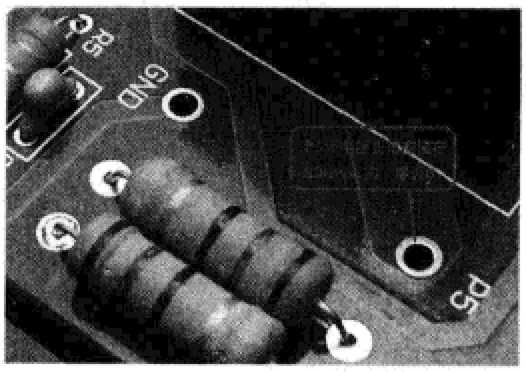
第二个测量点是运放的供电电压，正常电压应该是±12VDC左右。



第三个测量点是6.35mm立体声插座侧面金属片，大约是9VDC。



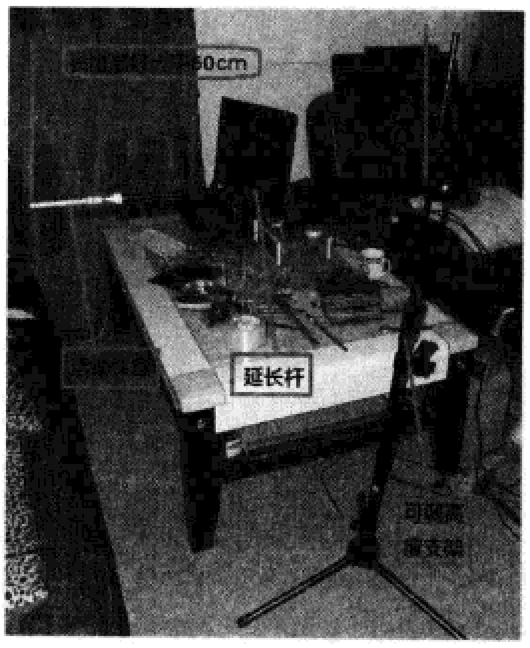
第四个工作点是测量功放的直流输出，正常应该稳定在20mV以内，接近零。



测量这几个工作点都正常，说明整个测量套件工作基本正常，可以按照个人的喜好装上不同的机壳。在装箱时，最需要注意的就是LM1875的绝缘。请使用元件包中的绝缘组件来固定LM1875。

MIC的制作

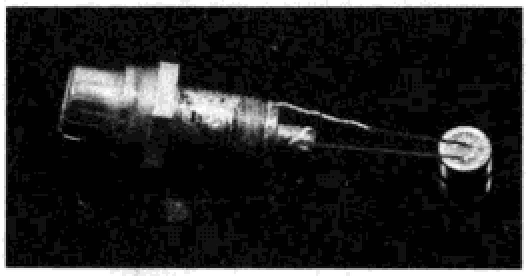
MIC的制作比较讲究，比较重要的一点就是，MIC杆的长度最好大于60cm。制作得宜的MIC能提高测量的准确度，因此，我个人选择了一种话筒架来制作MIC及延长杆，它的一些附件正好能满足制作的需要，价格也不高。下面是我制作的MIC的示意图，它由活动头，延长杆以及可调高度支架组成。



1. 活动头部分的制作

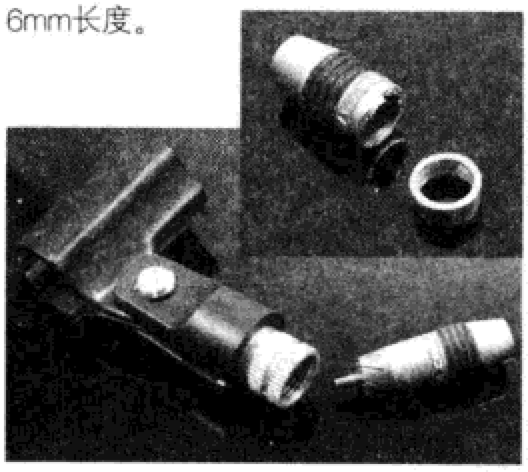
活动头部分用了一个RCA座和一根圆珠笔杆，简单而好用。圆珠笔杆的尖头部分锯掉一截，使得WM61刚好能塞进笔杆头部，等全部装配完成后，可以用胶水固定一下MIC。

MIC 的连接线建议采用单芯屏蔽线或者话筒线，MIC 的极性一定要注意，跟外壳相连的是 MIC 的负极，不要搞错了！可以参考下图焊接连线，MIC 连线的焊接时间要控制得尽量短一些，时间过长可能因为过热造成 MIC 损坏，测量频响时，高频部分会大幅跌落。

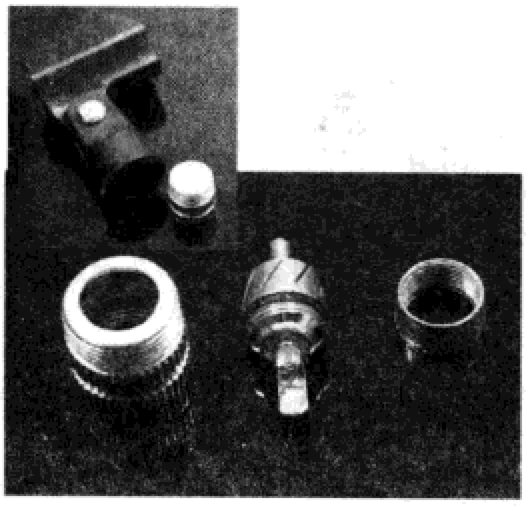


2. 延长杆的制作

延长杆的头部制作要用到话筒架本身的铁管以及随带的几个部件以及一个RCA座，一个RCA头。如下图所示，把RCA头外套的螺纹部分锯下约6mm长度。



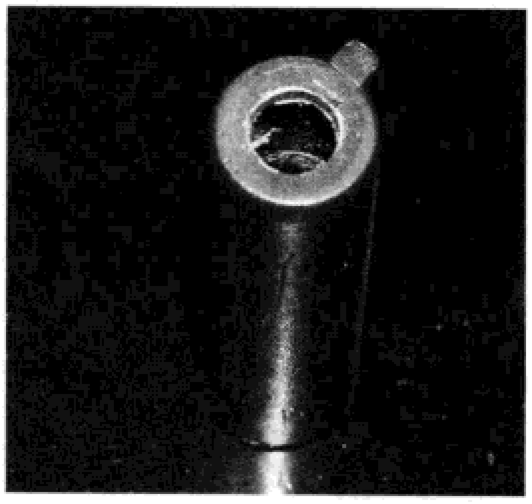
把话筒架附件的铝合金部分取出来，然后根据RCA头螺纹的直径钻一个孔（约10mm左右，不同的RCA头略有不同），再把RCA头焊片负极截去一部分，形成如下图所示的3个组件。



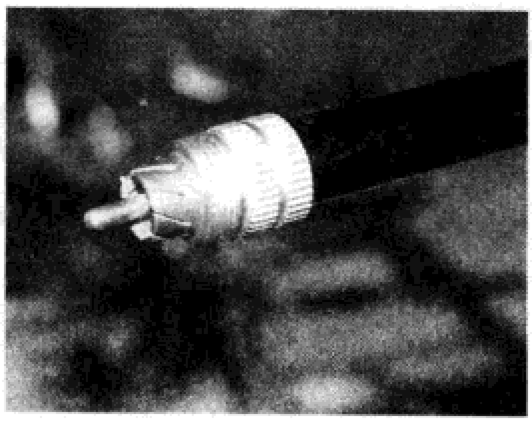
把RCA头的螺纹部分塞进话筒的铝合金部件，用尖嘴钳夹住，然后拧紧RCA头就可以了，这步要配合好螺纹，要稍微有点耐心。

找一根比延长杆略长的话筒线，一头跟RCA座焊好，极性不要搞反了，如下图示意。

延长杆的尾部制作还是要用到话筒架的另一个塑料附件，也需要钻一个9mm左右的孔，具体大小也需要根据RCA头来定，见下图示意。



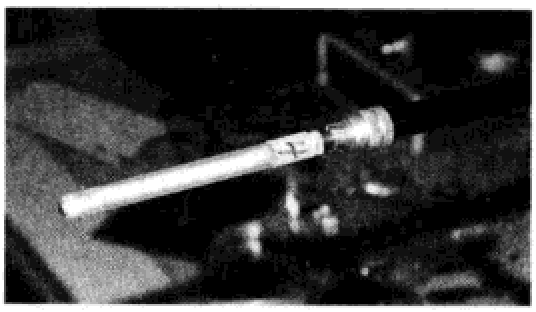
接着我们把话筒线穿过延长杆，拧紧延长杆前部RCA头部分。



话筒线的另一头还需要焊接一个RCA座，为了安装方便，这种固定螺纹在外端的RCA座是个很好的选择。如果是普通的RCA座，估计紧固的难度会增加不少。

焊接完毕，拧紧后部的RCA座，紧固完毕，在延长杆上插紧、固定就可以了。

在延长杆前端安上MIC活动头。



这样，一个带可调高度支架的测量用MIC就完成了，我们可以用一根RCA线把它连到测量套件后部的MIC座上，然后配合相关的测量软件，就可以测量扬声器或者音箱的频响了。

第八届中国音响DIY大赛已经落下了帷幕，在此，我们邀请了荣获一、二、三等奖的选手详细介绍他们的获奖作品。

第八届音响DIY大赛一等奖

◎陈金瓶

为了0.1的震撼！

——记我制作的重低音系统

写在最前面：两年前（第六届音响DIY大赛），我凭一款“全手工5声道功放”摘得桂冠。而后发现，玩AV缺少那0.1声道的重低音会是很大一个遗憾，所以，我设计制作了这款独立的低音炮功放（以下简称炮放）和音箱。没想到这次又赢得了朋友们的赞赏与肯定，在此，对继续支持我的朋友们道声：谢谢！同时将设计和制作这套系统的心得奉献给大家，因为这只是业余的设计和制作，难免存在疏忽与不足，还望大家指正。

我虽然没学过电子技术专业，但是我从事家电销售管理工作14年来，接触到国内外众多家电产品，而在见证了一个个成功、失败的产品后，我认识到：实用的功能、便捷的操作、漂亮的外观是成功产品必不可少的三要素，也就是说，开发者应该从顾客的需求去设计，才能赢得顾客忠实和长期的支持。而作为业余的开发，我的顾客只有一个，那就是我的妻子，所以，设计这套系统，除了满足自己的乐趣以外，也重点考虑方便她使用、迎合她的审美观。

基于我家的听音环境及本项目的预算，这套系统的大框架浮现在我的脑海：整个系统受控于主功放，实现随主功放自动开/关机、音量同步遥控；采用12英寸单元，功放与音箱分离，功放采用立式结构来尽量减小占用面积（图1功放内部结构），并仿照诺基亚手机的呼吸灯光效点缀简洁的面板。

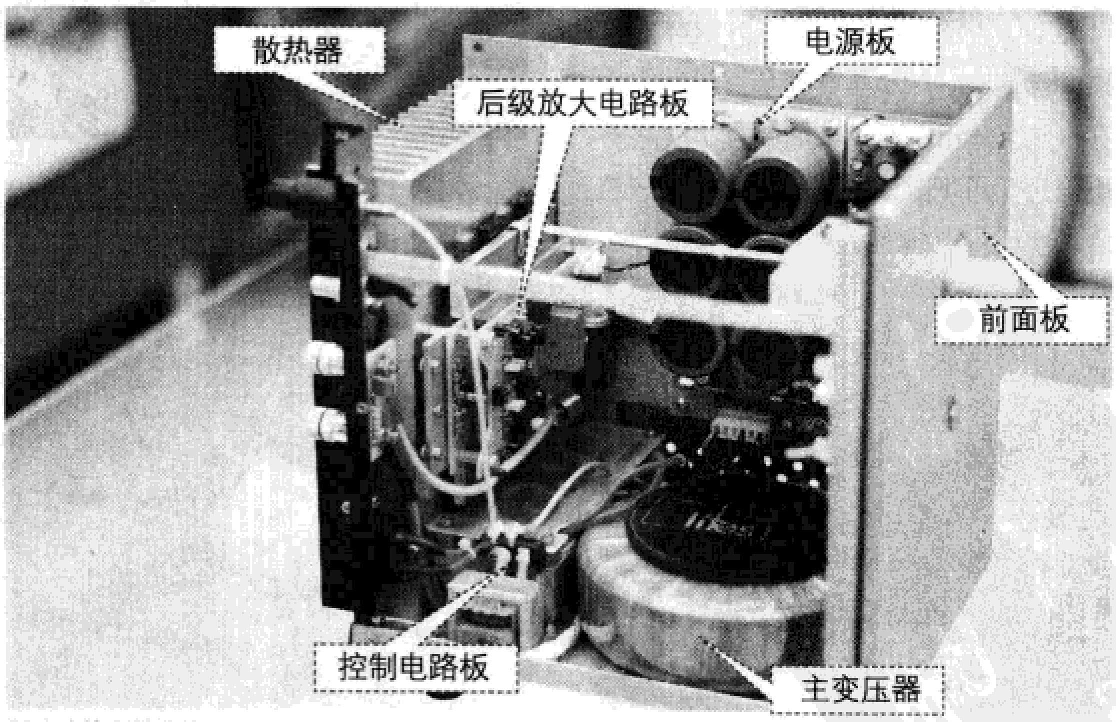


图1 功放内部结构

电路方面：后级放大电路采用张伟良先生的E305电路，此电路的特点在《无线电》2008年第4期已有介绍（图

2后级原理图）。之所以采用这个电路，是因为前三声道是采用的这个电路，我很满意它的低音控制力。我不喜欢运放，所以前级也采用了广受好评的张先生的电流传输前级电路（图3前级原理图）。该电路元件比较少，听说效果还不错，所以计划做4个，把主功放的NPD5566差分前级换下来试试，也保证了各声道的一致性。后来才发觉有点过了，其实没多大必要追求重低音声道与主声道的一致性。

有了以上大的框架，下一步考虑的就是自动、同步控制。因为我们习惯于将遥控器对主功放的操作，红外方式就显然不可取了，所以考虑由5声道主功放采用无线遥控来控制炮放，这样在主功放开/关机时即实现了炮放的自动开/关。实际工作流程描述如下：主功放开机上电时即连续发射5秒的开机信号，然后计时，每20分钟再次发射5秒——处于待机状态的炮放接收到该信号后主变压器上电、呼吸灯熄灭、电位器背灯点亮，炮放开始工作并计时30分钟后进入待机状态。就这样，每20分钟发出一个开机指令，每20分钟收到一个命令重新进行关机计时，就实现了主功放开机时自动开、主功放关机后最多30分钟就自动关的功能（图4开关机流程）。这个流程确定了，整机的框架也就自然而然地形成了（图5整机框图）。

有了思路后，马上进行实际电路的搭建。真要感谢网络的便捷，轻松地就找到了非常适合我这个项目的PT2262/PT2272模块，这对模块售价仅20元，在无控制信号输入时，PT2262不接通电源、315MHz的高频发射电路不工作，所以对其他电路的干扰可忽略不记。PT2272分锁存型和非锁存型，在这里我选用后缀为M4的非锁存型。在定时方面，参照了《555定时器原理及实用电路集锦》这本书，梦想的蓝图就轻松成为了现实（图6发射定时，图7关机定时）！在要不要再

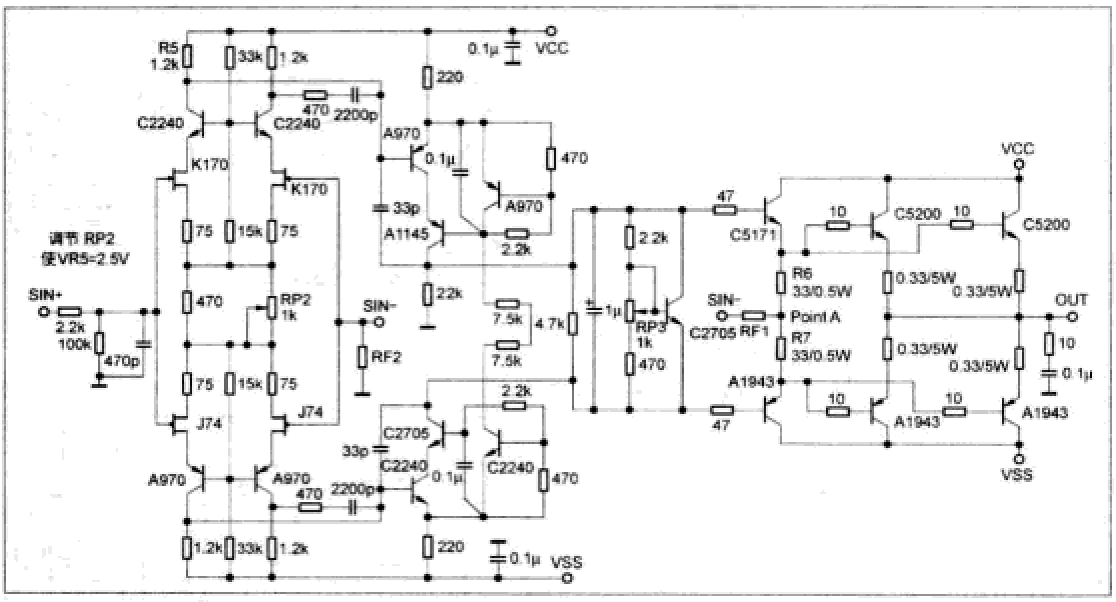


图2 E305后级原理图

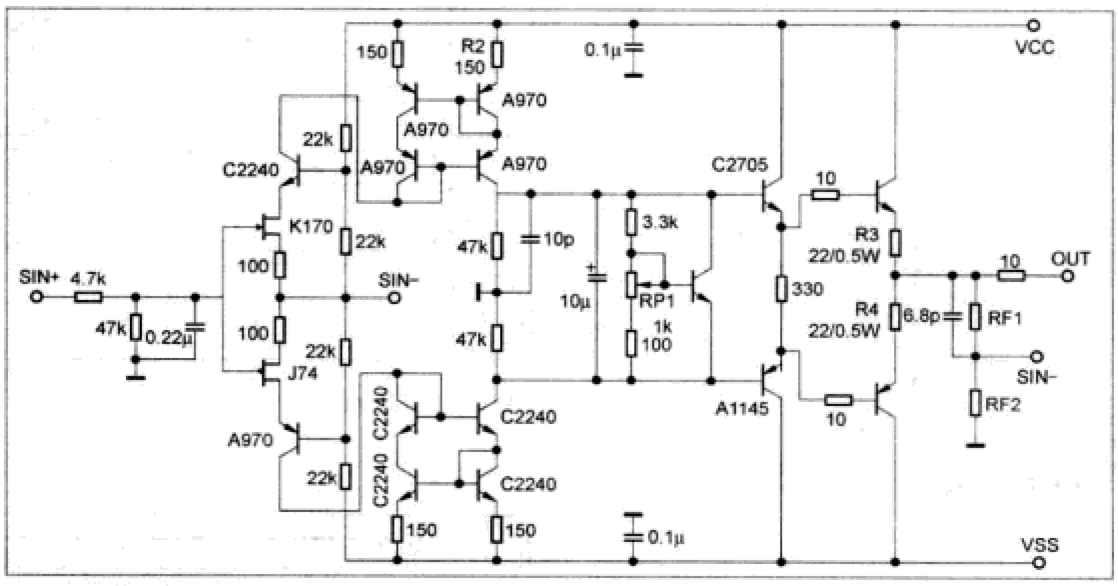


图3 电流型前级原理图

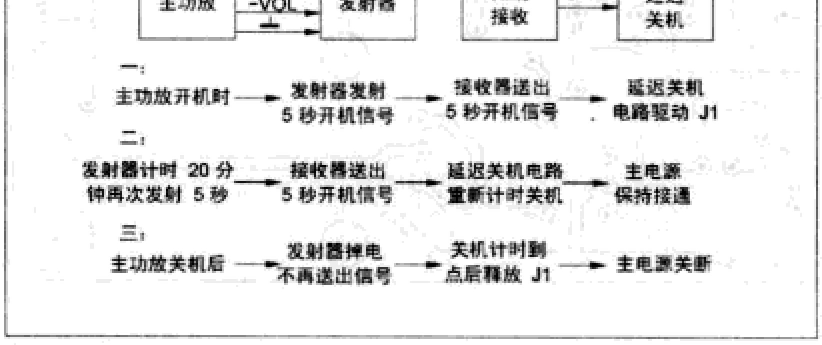


图4 开关机流程

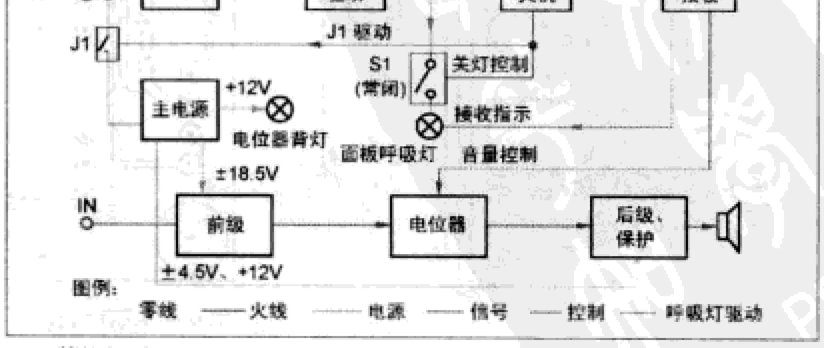


图5 整机框图

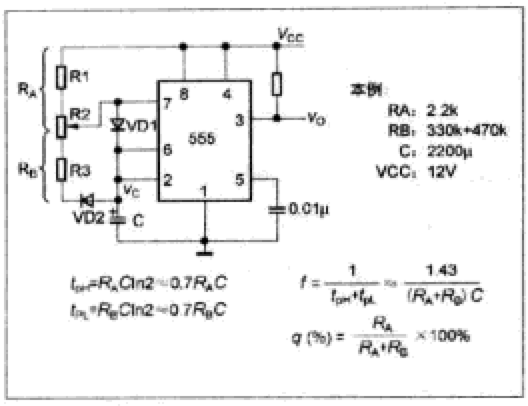


图6 发射定时

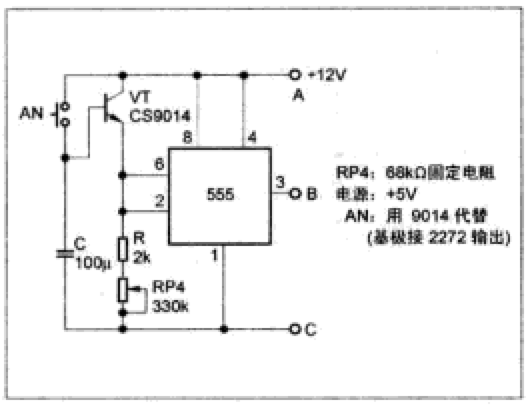


图7 关机定时

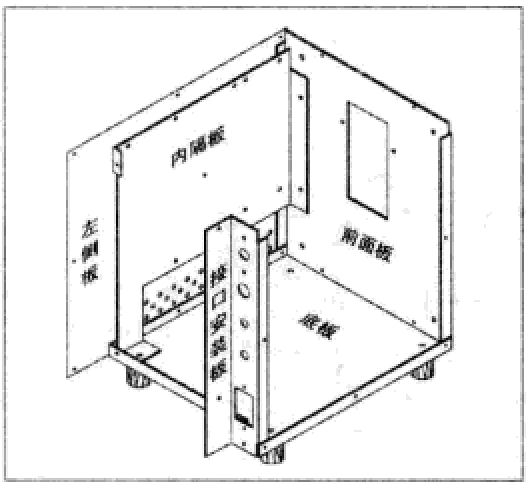


图8 机箱结构模型图

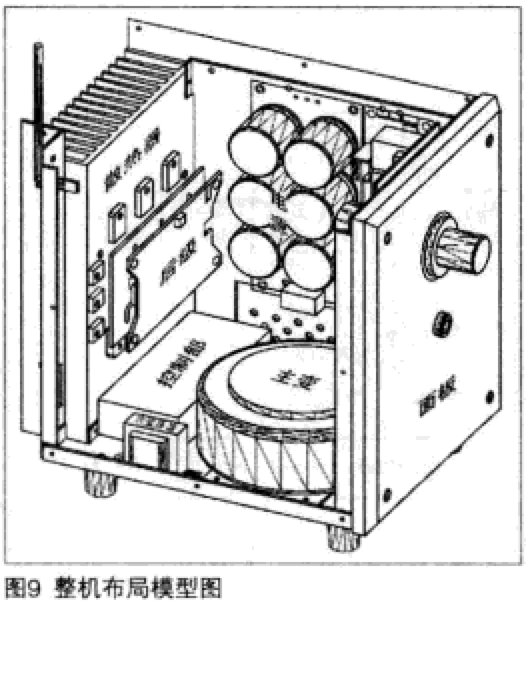


图9 整机布局模型图

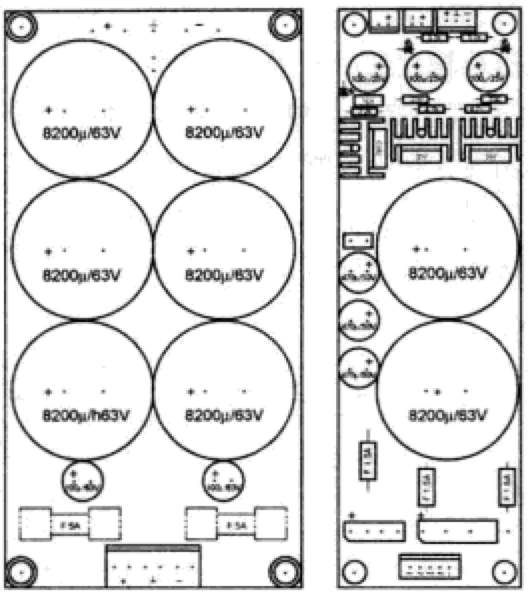


图10a 电源板元件位置图

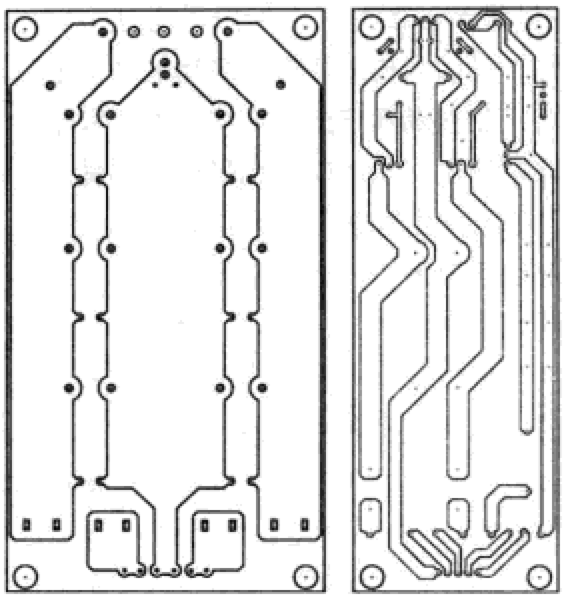


图10b 电源印制板

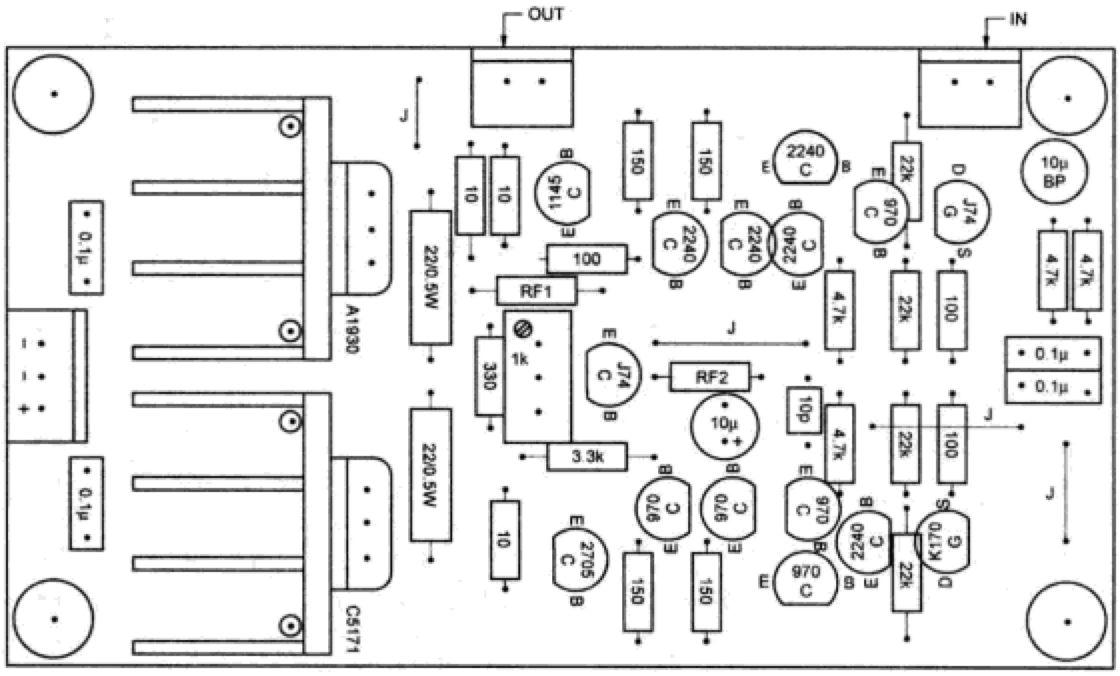


图10c 前级元件位置图

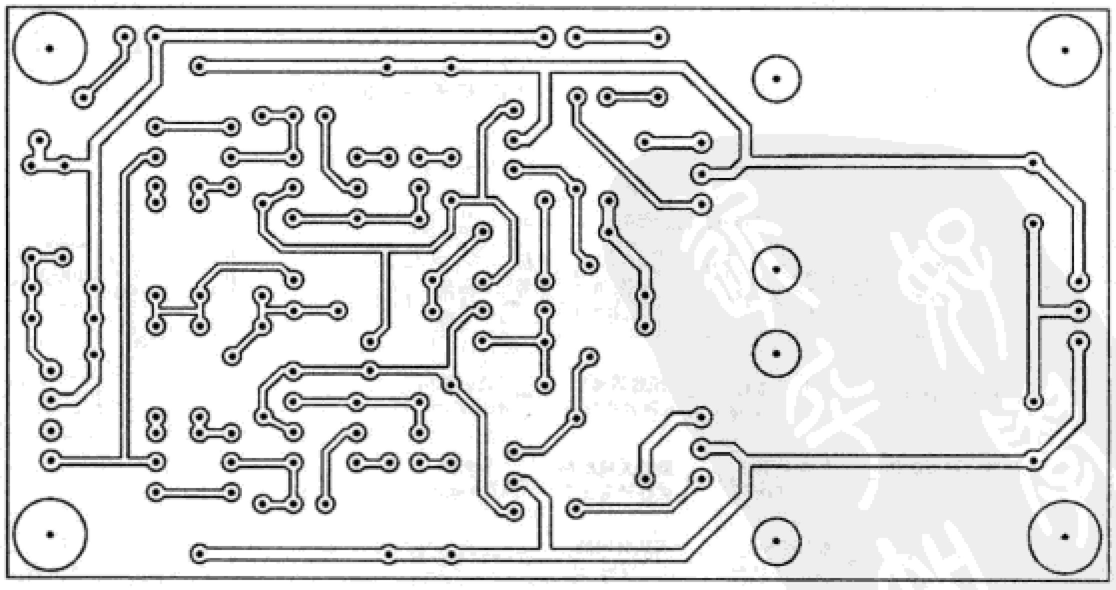


图10d 前级印制板

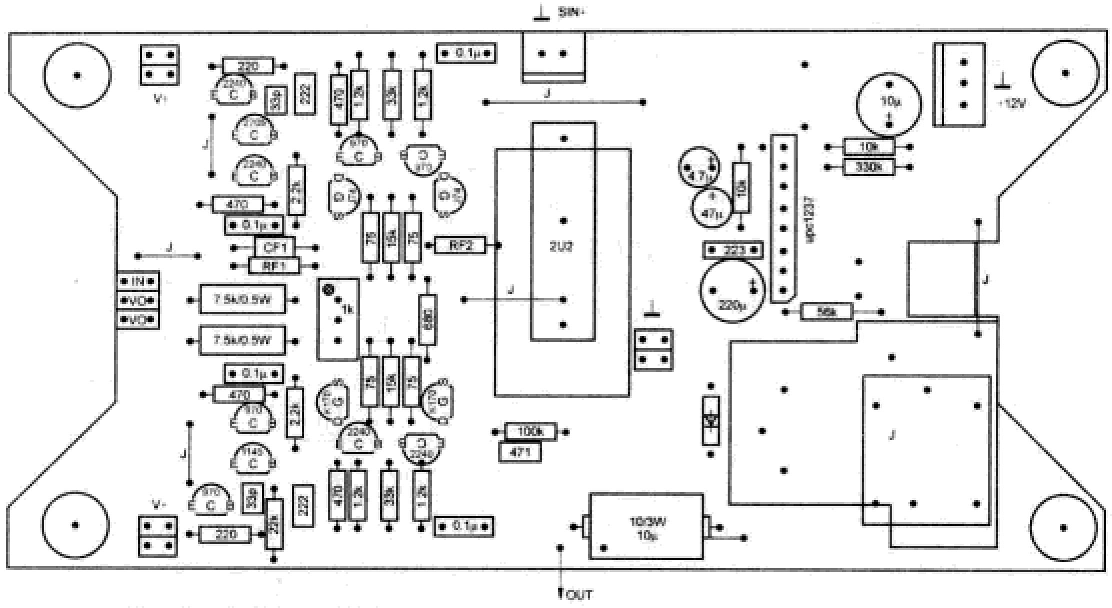


图10e 后级输入级和保护板元件位置图

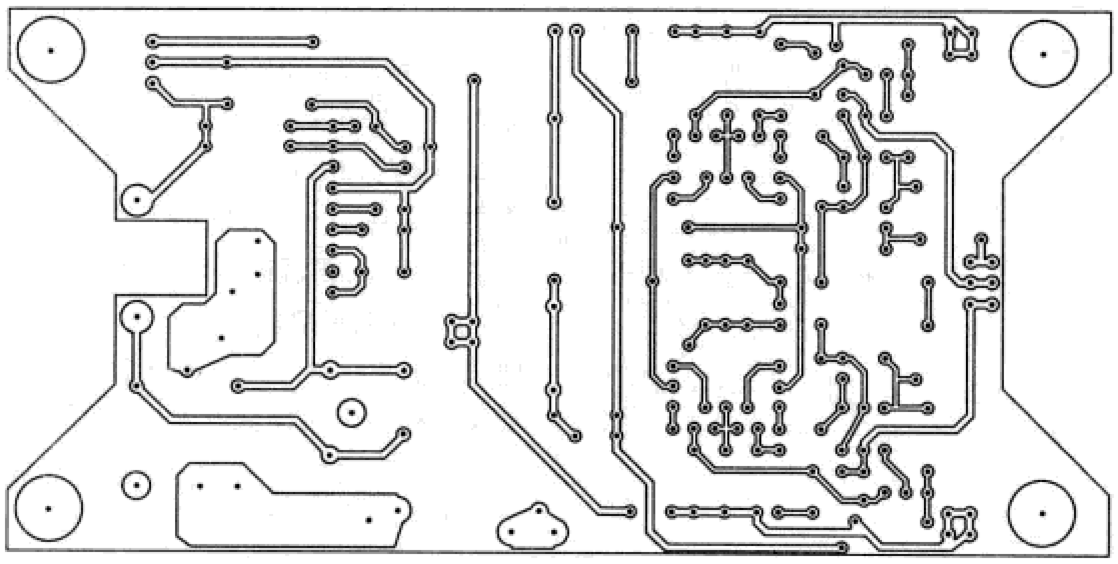


图10f 后级输入级和保护板印制板

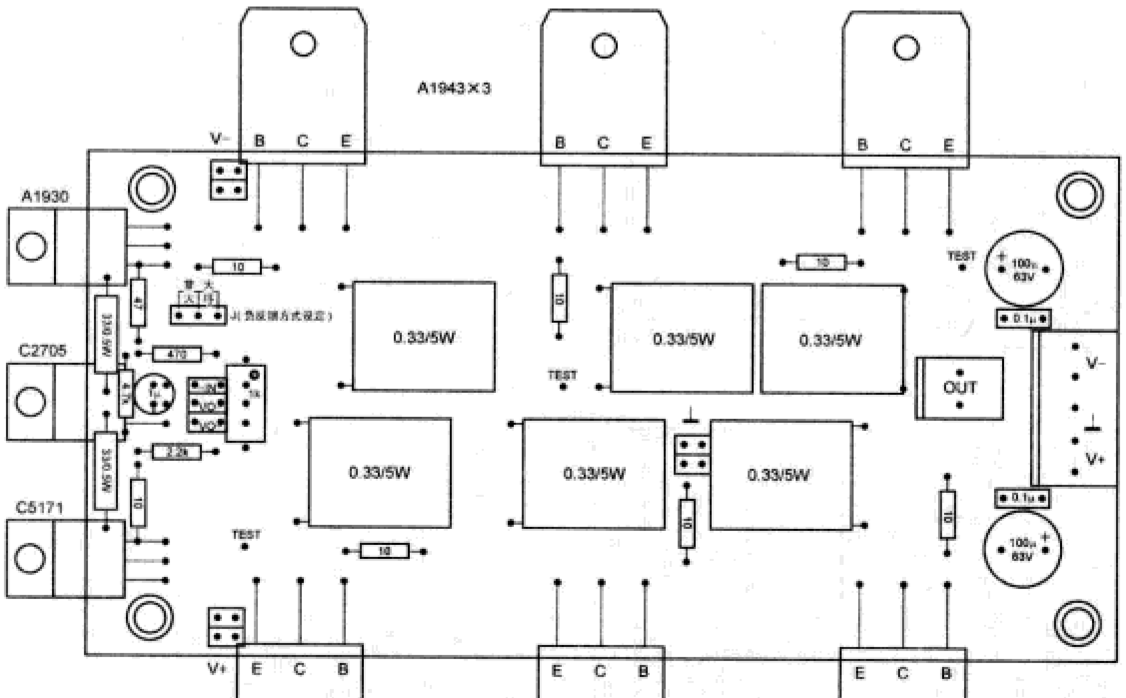


图10g 后级推挽级元件位置图

加低通滤波上我纠结了很久，考虑到主要是用HTPC看高清，输出的是标准的0.1声道信号，所以最终只在炮放的前级输入端加了一级一阶低通滤波电路。通过公式f_H=1/2πRC计算出：当R为2.2kΩ、C取0.47μF时，截止频率为154Hz。后来测试，当播放立体声音源，声卡设为5.1输出时，能听到一点衰减了的人声，而播放DTS或AC3信号源时，则干净了很多，总体感觉一阶滤波电路已可满足我的需要。

在设计PCB之前，得设计出整体的结构，以期达到整体的和谐统一。而为了使结构尽量小巧紧凑，我将最大的一个部件——“散热器”作为整个结构设计的起点，凝视着这块150mm×200mm×45mm的散热器冥思了一小会儿，整个结构就浮现在了脑海。为了便于加工，我将机箱设计成拼装式，采用1mm厚的铁板做成7块简单的形状，然后再用自攻螺丝连接起来就成了！整机轮廓有了，各印制板的布局自然就形成了，接下来就是画图、画图再画图！机箱画完，再根据机箱尺寸开始画印制板。在仔细复核、修改错误后，很顺利地完成了图纸的1:1打印、敷铜板下料、粘贴、刻制、腐蚀、钻孔、焊件这几个我熟谙的手工制作印制板步骤（图8为机箱结构模型图，图9为整机布局模型图、图10为各部分印制板及元件位置图）。

调试是一块板一块板地测试的，最后再进行总装，这样万一有什么故障也会把损失减到最少。首先测试的是电源板，因为我采购到的LM317和LM337是不同品牌的，造成±18.5V有0.5V左右的差异，只得将R1换成5kΩ精密可调电阻进行校正(图11电源原理图)。接着调试前级，结果百密一疏——因为是一点接地设计的印制板，信号地与电源地是不相通的！搭上一根飞线，声音一下子就出来了！还是怪我自己太懒了，我明知大家的

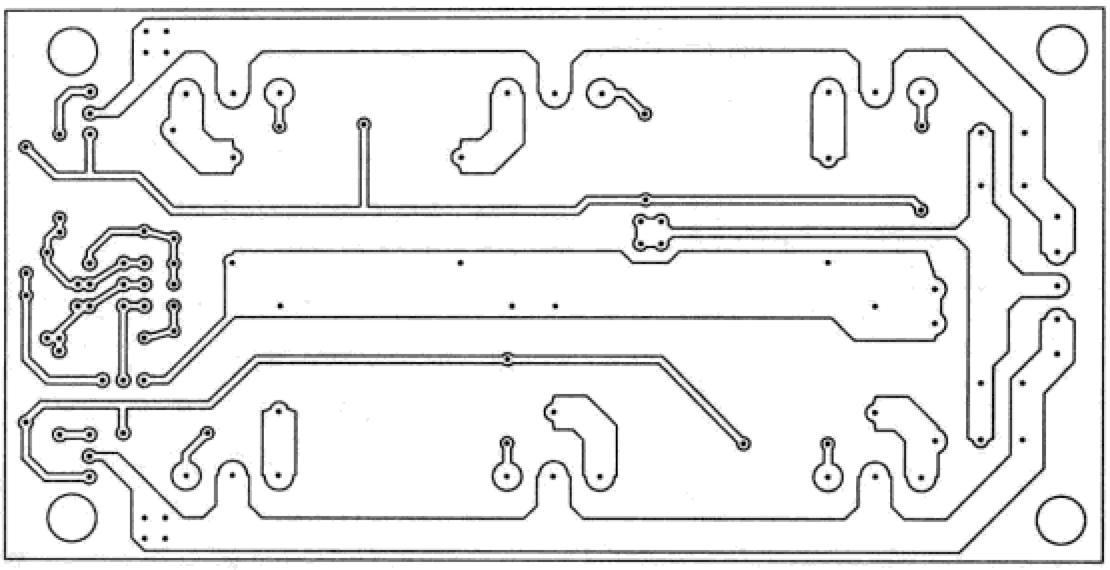


图10h 后极推挽级印制板图

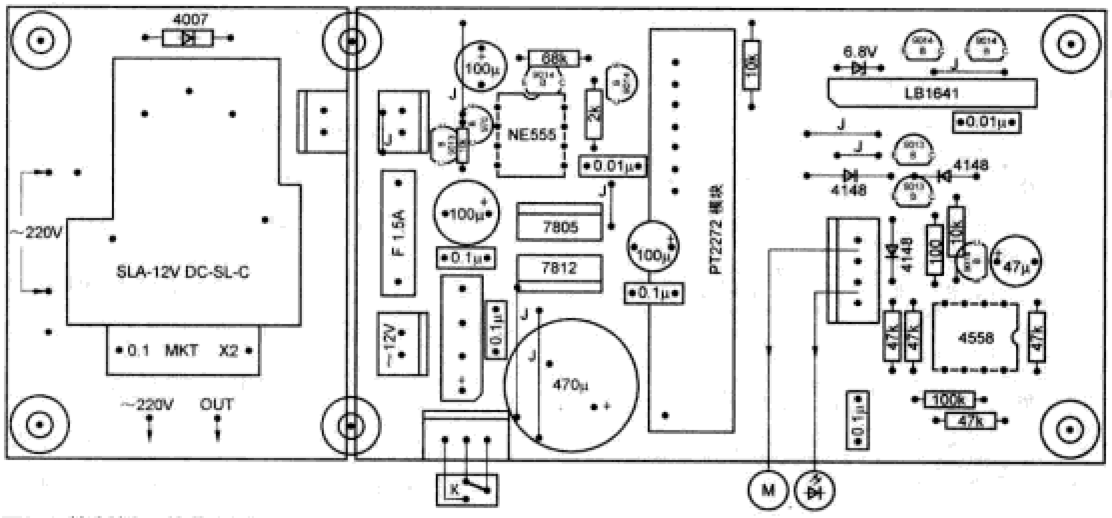


图10i 控制板元件位置图

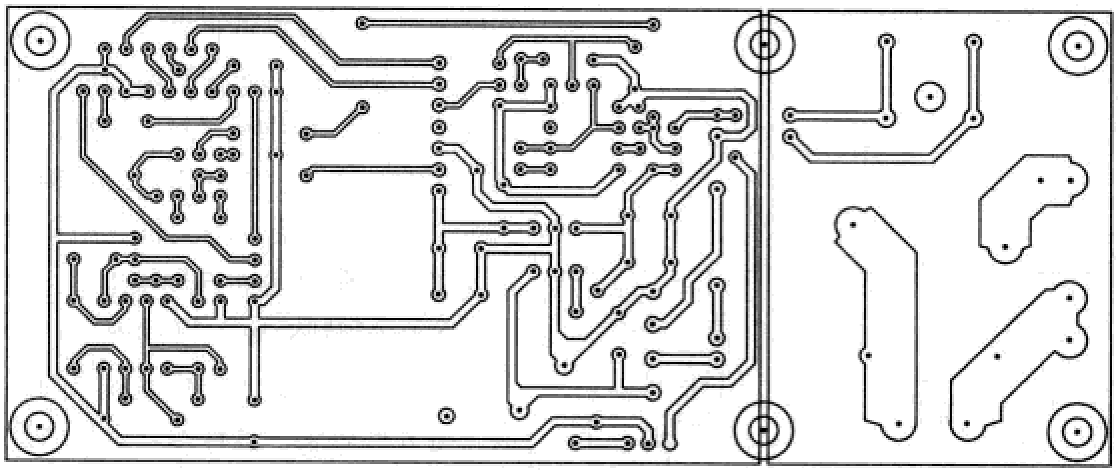


图10j 控制板印制板图

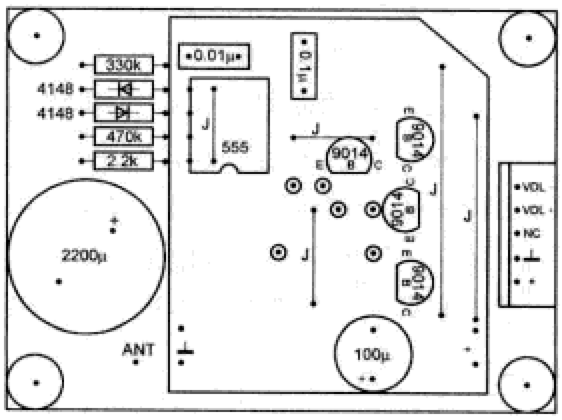


图10k 发射器元件位置图

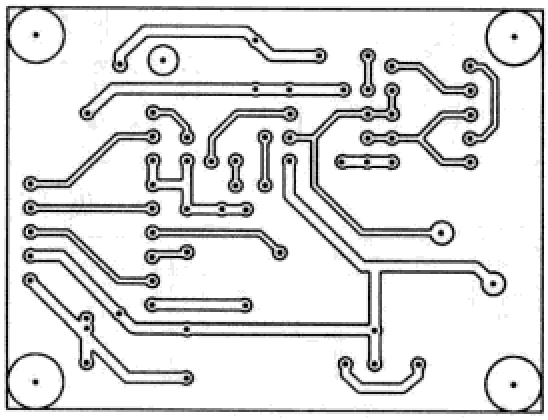


图10l 发射器印制板图

经验是这两地之间串个50~100Ω的电阻，当全部板级间的地线接好后，这个电阻就被短路了。能出声就证明没有多大问题，不过中点电位居然有200mV多，可能是元件配对误差太大了！迅速将R2换成200Ω精密可调，经过反复调整，中点终于控制在±2mV以内。通过调RP1、使R3、R4两端电压达0.33V，设定C1571/A1930的静态电流为15mA。放大倍数由RF1（4.7kΩ）和RF2（1kΩ）确定。后级调试分两步走，先测试输入级与推动级，调RP2使R5两端电压为2.5V，测R6、R7两端电压应为0.66V，确认后即可将扬声器接在Point A及“地”试听。接下来装上大管，先测中点有70mV多，把R5用1kΩ精密可调串联220Ω电阻替换，也将中点调到了±2mV以内。等十来分钟中点稳定后再调RP3使0.33Ω两端为9.9mV，小音量播放了两个小时，多次监测，温度、各工作点都还算稳定。总装之后还需要测试一次，因为装箱后因散热条件改变温度会升高的，从而使工作点可能漂移。

最后调试控制部分，首先检测PT2262/2272模块的好坏，通过测试后再将2272模块焊到主控板上。通电一试，预料中的事发生了：2272是5V供电，它的输出不能驱动12V供电的NE555！因为有以前的经验，所以我不慌不忙地将负责关机延迟的NE555改为5V供电，还算轻松搞定！接下来就是等待，等3分钟！因为我把关机电路中的“RP4”两端短路，测试好定时是否正常后，再上电阻去调试。经过粗略计算和试验，最后将“RP4”定值为68kΩ电阻。呼吸灯电路的调试比较顺利，原图（图12呼吸灯原理图）用的22μF电解电容，“呼吸”频率高了些，改为了47μF就较为合适了。PT2262发射器的原理就是将原本的微动开关用三极管代替，其中两路接至主音量（带电机电位器）电机控制

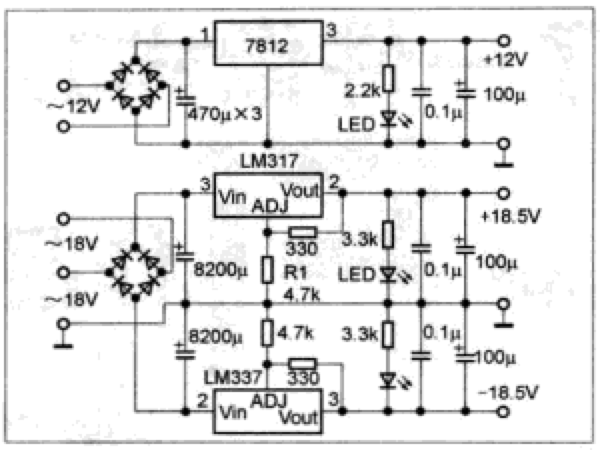


图11 电源原理图（后级电源原理图略）

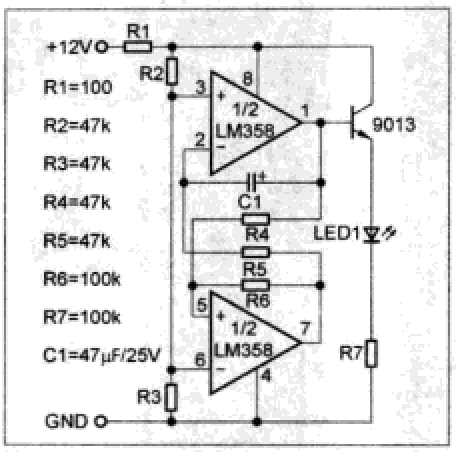


图12 呼吸灯原理图

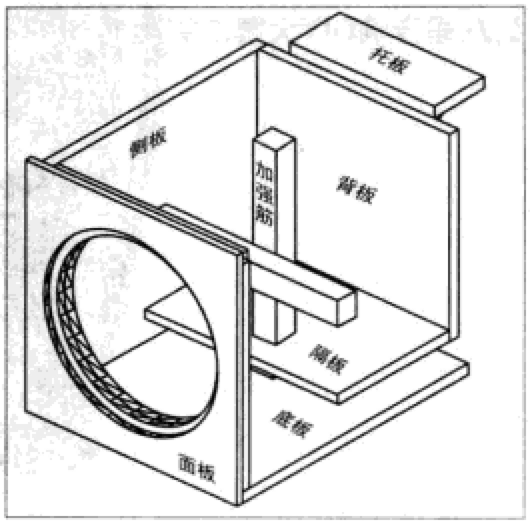


图13 音箱结构示意图

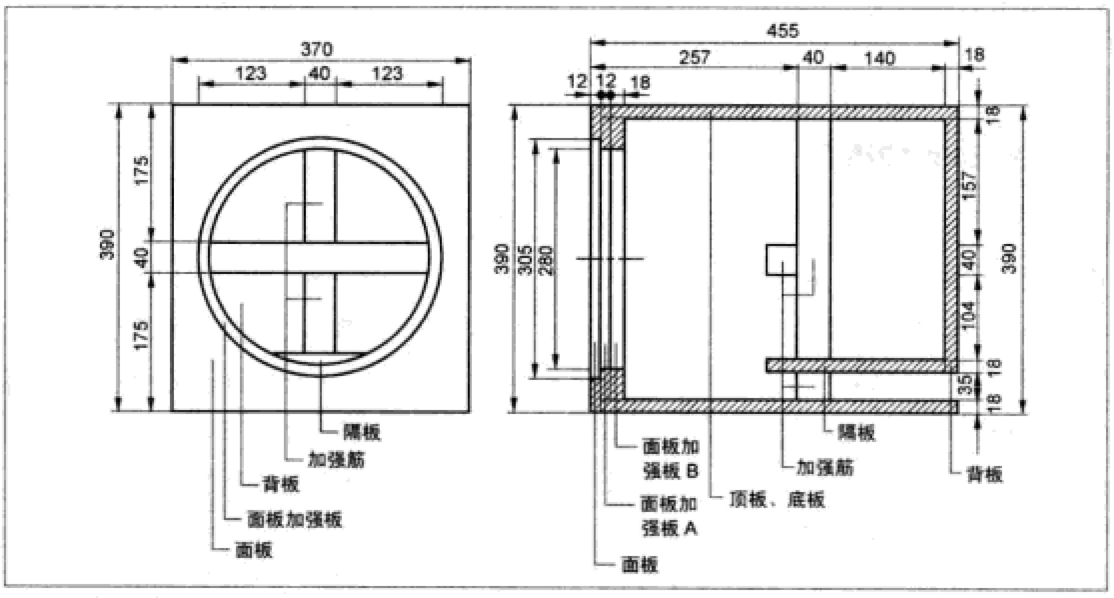


图14 音箱尺寸图

端，对应开机的一路由NE555定时20分钟控制。此处的NE555采用占空比可调的定时电路，为了防止意外干扰使得低音炮功放未收到指令而意外关机，所以设定为连续输出5秒高电平，进而使PT2262每20分钟发出5秒开机信号。经过公式（t_{PH}=0.7RAC、t_{PL}=0.7RBC）计算，R_A取2.2 kΩ，R_B用330 kΩ、与470 kΩ串联，C取2200 μF。

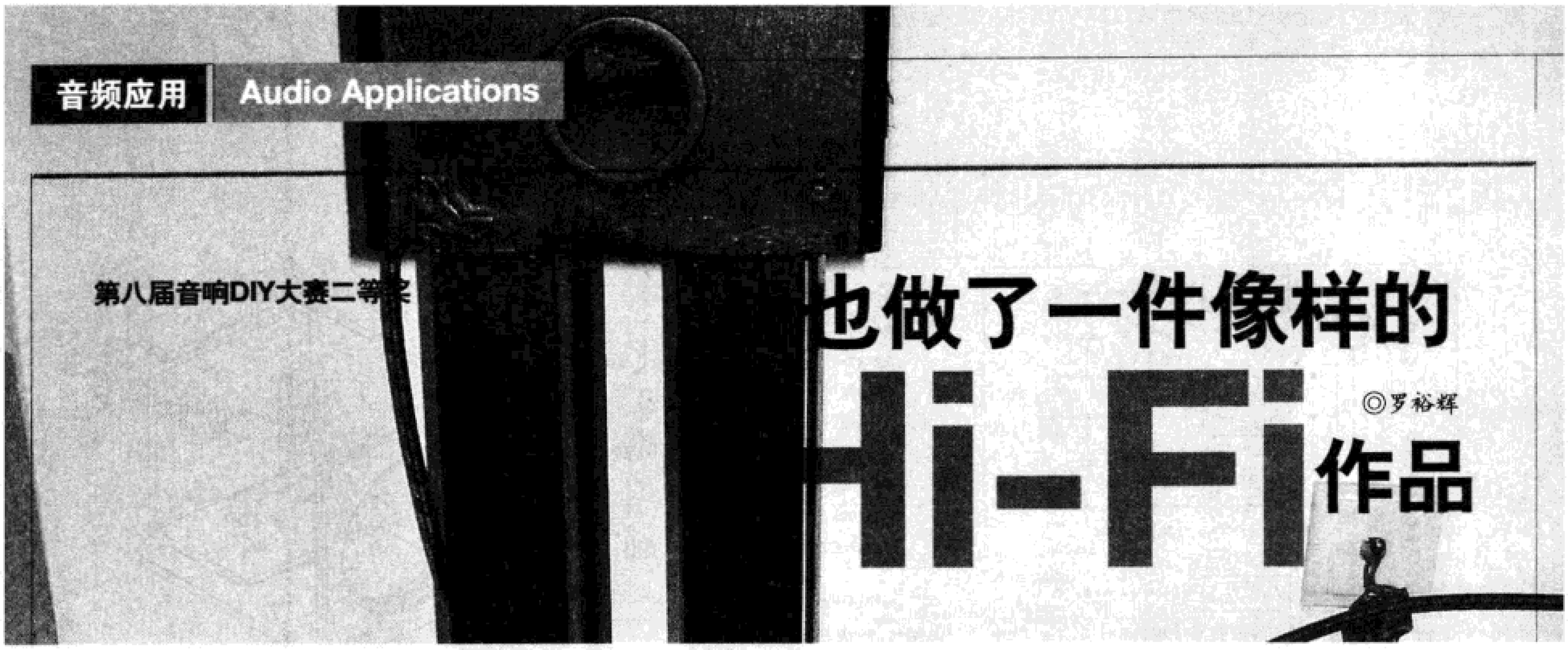
总装时只需注意地线的连接，因为是一点接地设计，信号地线和电源地线是分开的，信号地由输入RCA座引至滤波电容，流程为：主滤波电容——RCA座（此处接机壳）——前级——电位器板——输入级，电源和输出地线从主滤波电容引出4根线分别接至前级电源地、保护电源地、后级地和输出接线端子。控制板的地线与放大部分无连接。这样的连接是最经典的，耳朵贴近扬声器才能听到很微弱的本底噪声，如果有较强的交流“哼”声，则应重点检查是否地线形成了环路。

计划是要在无源音箱顶上放置低音炮功放及其他物品的，而顶面面积有限，因而加了个托板在音箱背面（图13音箱结构示意图、图14音箱尺寸图），希望低音炮的震动不会影响到其上放置的物品。音箱装配过程就简单多了：先将吸音棉按尺寸裁好，将白乳胶涂在箱体内侧，再将吸音棉铺上去。在拧固定扬声器的螺钉时，应采取对角固定，这样才能装得平整。拧紧了最后一颗螺钉，我就迫不及待地接入系统试声了。首先交换一下输出接线判断一下相位，是很好分辨的。接着播放经典的高清影碟，那充沛、有力的低音，绝对是昔日不可比拟的。因为低频的无指向性，所以在仔细调整炮放音量与主声道均衡之后，几乎感受不到低音炮的摆位！

至此，整套重低音系统就算圆满完成了。最后说说都利用了哪些废旧材料吧：机箱脚钉是在燃气灶上拆的，固定左右侧板用的是坏硬盘上拆下来的不锈钢内六角螺丝，超漂亮！发射器外壳利用的时装手表的包装铁盒。其他元件均是普通品，并未使用昂贵的发烧级元件，因为我一直坚持：理智发烧、节约发烧！

个人简历

本人出生在20世纪70年代末，从事商业营运管理工作。自幼酷爱无线电，在中学老师的启蒙下开始课余学习。1995年工作后，便组装了一对惠威PS8A音箱，之后又制作了1875、傻瓜175、4191、3886等集成功放。2004年开始规划分立元件的功放，边学边做，直到2007年才完成一台全分立五声道功放。后来又进行了一系列优化升级，在制作实践中拓宽了视野，对功放的制作有了一个比较系统的认识。正因为这一路走来的沉淀，才使得我可以在短短三个月中顺利完成本文作品。最后与大家分享我的座佑铭：思想胜于学识，即学亦可即用。失败权当转折，实践奠定成功！



第八届音响DIY大赛二等奖

也做了一件像样的Hi-Fi作品

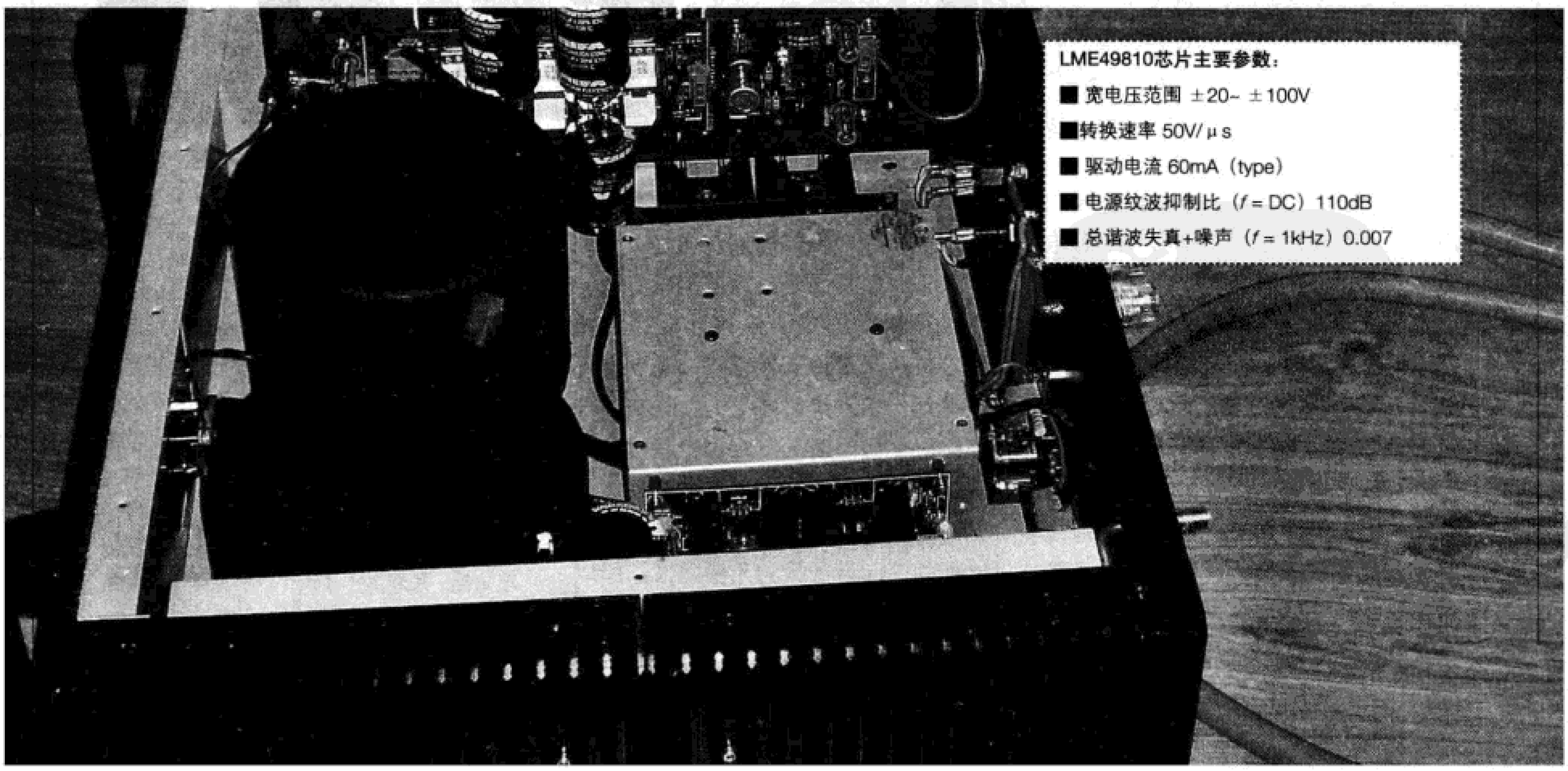
◎罗裕辉

从小就喜欢音乐，长大以后，我更迷恋音乐了，闲暇的时间里，听着悠扬的乐声是我人生最大的享受。受条件限制，去音乐厅欣赏音乐的机会比较少，只能把希望寄托在器材上。从十几岁就开始喜欢折腾收录机等小音响器材，工作后虽然花在这方面的时间少了，但这份情结始终没能忘怀。三四年前，我又慢慢开始折腾音响器材了。从TDA2030到TDA7293，再到分立件的1969、DXAMP等，这些电路我一一玩过。美国国家半导体（National Semiconductor）公司（以下简称国半或NS）LME49810的推出，使我眼前一亮，新功放的制作开始了。由于种种原因，这台纯后级功放的制作耗费近1年的时间。为了调声，反复拆装不下7次，前后换掉的变压器有3对，呵呵，够疯狂吧。

LME49810简介

LME49810是国半推出的一款高性能电压驱动的集成电路，适合制作音频功率放大器，其特点类似于它的前辈——LM4702，不同的是，LME49810是一个声道，而LM4702是双声道。比起前辈LM4702，新的LME49810具有更大的驱动电流，更高的转换速率以及更完善的保护电路。不仅对初学者，就是对于老烧友来说，LME49810也是一片出色的集成电路。LME49810芯片采用15引脚的TO-247封装，其压摆率高达50V/μs（转换速率），电源抑制比(PSRR)高达110dB，并可在±20V至±100V的宽阔电压范围内操作。为避免长时间在高温环境下操作而受损，LME49810芯片内置先进的过热保护电路，每当管芯温度超过150℃时（在实际应用中，温度在70℃以上时，当其他因素也具备时会引起自激），这个保护电路便会启动。这款芯片还内置了抑制开关/切换噪声的静音电路。理论上双单芯片可以让左右声道的分离度高些。

我准备使用这片IC来推三肯的2922/1216对管，但由于我的音箱并不好推，使用3对大管并联增加控制力，三对管的要求会高些。如果配对不精准会吵耳的，如果箱子不难推，建议使用一对管来推比较好（多只香炉多只鬼），使用多对管后通常会因为晶体管各项



LME49810芯片主要参数：

- 宽电压范围 ±20~ ±100V
- 转换速率 50V/μs
- 驱动电流 60mA（type）
- 电源纹波抑制比（f = DC）110dB
- 总谐波失真+噪声（f = 1kHz）0.007

参数无法精确一致导致音乐背景常不如单对管清晰、宁静。

制作调试过程

功放这个大玩具，要想出声容易，但要想出好声却非常难。即便是下血本也不一定能够做好。参考了论坛上有关LME49810的贴子，选择了坛上一位兄弟开的板，如图1所示。最终设计的电路原理图如图2所示。简说此图特点，10μF的输入电容阻隔输入信号里的直流信号，VS+和VS-是IC的供电，可直接并在电流级的VSS+与VSS-上，也可分别独立供电。独立供电时，一般电压级比电流级电压要高5V左右，接到扬声器保护电路。YB是扬声器保护电路的过流取样点，三极管C4495起温度补偿作用，查资料得知，C4495的h_{FE}很高，是三肯公司专门为适合温度补偿作用制造的三极管。推动管为MJE15034/15035，是ON产的推动管王，大功率管为5对MJL4281/4302，也是ON产的大功率管。

一台功放的制作并不难，难就难在要把声音调整成你满意的声音，需要消耗很长的时间和非常多的精力。把一堆零件组装起来并不需要很多时间，DIY里的金工活相对会比较累些，所以制作一台功放我认为需要的是毅力，是一种坚持不懈的毅力。这款功放的散热，每声道采用4kg的铝散热片和2kg的铜板做匀热作用。调试声音耗费了大半年，在这期间，又陆续购买元件来替换、对比，然后再替换，再调整。按PCB原参数安装时，每对大功率管电流在330mA，±55V散热在65~70℃，IC温度在55℃左右。IC供电独立，左、右声道独立滤波电容，整流由开始的MUR760两组共8个，更换为2个IR产25A整流桥。一开始想节约钱，只用一个600VA变压器，以为足够用，后来因为地线环路问题导致必须要更换，最终换了2只600VA的环型变压器，期间还换了2只300VA的E型变压器（电压过低更换之），但用那对E型变压器的时候，中频相对比较饱满有韵味，低频相对比较弱些，可能是功率不足造成的。

通电试听，音色生硬、直白、不耐听、韵味不够，高、低频比中频突出。经过30分钟左右的热机，声音有所好转，但我还是不满意，边煲机边琢磨着怎么修改。把MJE15034/35换成K214/J77（要记得脚位，要先查一下相关资料再对换）。换完这对管后，虽不能说有质的飞跃，但也有不小的提升。首先，高频比原来的柔顺了，中、低频的声音比原来的要厚，有韵味，低频原来的量感多，但力度不足。经过几天的反复试听，感觉整体还是有所提升。接下来，买了8只RIFA524（一边各4只）进行更换，低频也收住了点，高频并没有169那种迷人的高贵。一点一滴的累积，又更换了输入电容和反馈电容。反复听，反复更换。输入用思碧的10μF，反馈用思碧的220μF红头电容。呵呵，听来听去，思碧这电容的音色对于我还比较适合，声音让我感觉更健康点儿。这些基本是目前的改动，滤波电容、整流等也都是经过很多次更换才是现在这样的。

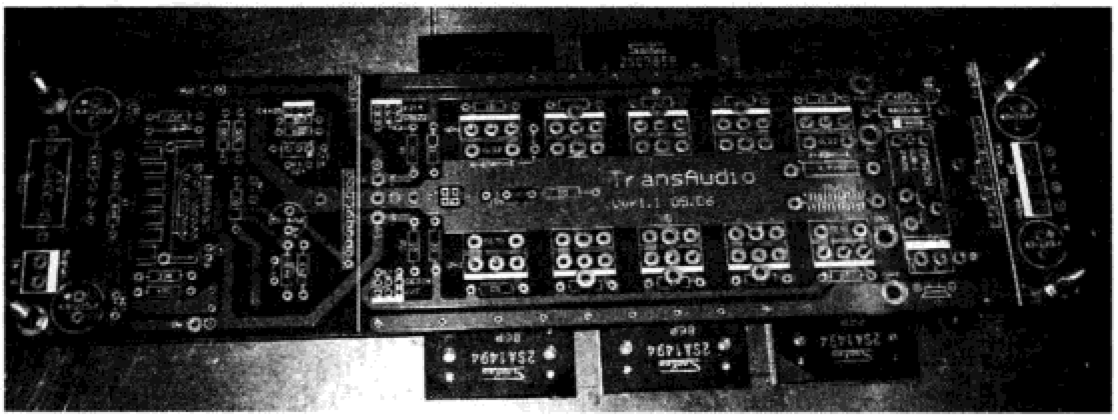


图1 功放PCB

经过一番调整后，终于小有成就。装好机的那天，开机预热后，立马感觉不对头，因为声音跑散了，蔡大姐不知在哪儿唱了。非常奇怪，检查各信号线、扬声器线均未发现异常，心里一凉，不会出什么岔子吧？当时在场的一些发烧友，沉思后冒出一句：把电源相位对换一下看看，是否反了？结果电源相位一换，人声定位又回来了。原来那天试机用的电源线相位是相反的，所以才导致这个问题。一首《Danse Bohe' from Carmen》让我有一种打完胜仗凯旋归来的那种喜悦。场面上那种欢呼、雀跃，人们在舞蹈庆祝，女郎在嬉戏，紧随着节奏的加快，心也被牵着，落幕那会儿，以鼓声收场，动态非常大，舞台感清晰。我之前的诸多付出总算得到回报。那天在碟片放进去之前，大家还在闲聊，当声音从音箱传出那一刻，几个人不约而同地停住，注意力集中音响上了，去构思这张碟的场景。把所有的心思都沉浸在音乐之中，真是一种享受……

元件的选用

整台机都用非常发烧的元件，未必声音能好，未必能让你满意，应该以一种理性去对待元件的选用。每个元件都有其优劣之处，要充分利用好每个元件的特点，扬长避短，这才是高手。例如：MJE15035/34这对管很出名，口碑不错，但用在我制作的LME49810功放中，不如K214/J77适合。而实际上，K214/J77二手管一对才8元，MJE15035/34要十几元买一对。反馈电容我也是用了拆机的二手

电容，才2元多钱一个。MUSE用在这里我感觉偏硬了些，ELNA棕神还相对好点，但高频太多，显得太过亮。当然，这些元件的选用，和你最终安装的位置都有关系。一位台湾地区的音响设计师曾说过这样一句话，大意是：不管是胆管（电子管）、晶体管，还是IC的功放，关键在于设计师的设计，看设计师能否把他手里的元件运用得当。“运用得当”，别看只是简单的4个字，做到却非常难。功放并不是昂贵材料的堆积，而是合适的原材料和合理的结构（布局及走线等）的完美结合，所以，DIYER经常出现用昂贵原料堆出来一台不理想的功放。一般制作模拟电路功放，要满足布局和走线规则才行。首选的原则是：让大电流（高变化率电流）远离弱电流，大电流围成的包络面积力求小，接地点要以滤波电容作为中心基准点，所有地线均在此处会合，大电流路径尽量短，正、负电源供电的路径也要短，围成的面积要尽量小，这样辐射干扰就会较小。

图2中的RD标号电阻，这颗电阻需要在你玩熟悉LME49810后再去做调整。在电路图中，此电阻的标称值为2.2kΩ。我曾经最低用到300Ω，结果是可想而知，IC超级热，达到一定温度(我几次烧IC，观察温度是在70℃以上)后就自激了，然后就烧坏IC。这点可以慢慢根据音色去调整，图2中只是一个保守值，我把这颗电阻最后调整到1.6kΩ（仅供参考）。

图2中的IC补偿电容CI标称为10pF，如果PCB走线不合理，当温度达到一定限度时，就开始自激，然后烧毁IC。如果想保守点，建议先上22pF，然后再慢慢往下调整，我最后用的是15pF。这个补偿电容非常关键！如果用大了，只是转换速率低点，还好。如果用小了，就容易自激，烧IC。在所有的末级管总静态电流超过100mA时，适当加大补偿电容，有一定的抑制自激作用。

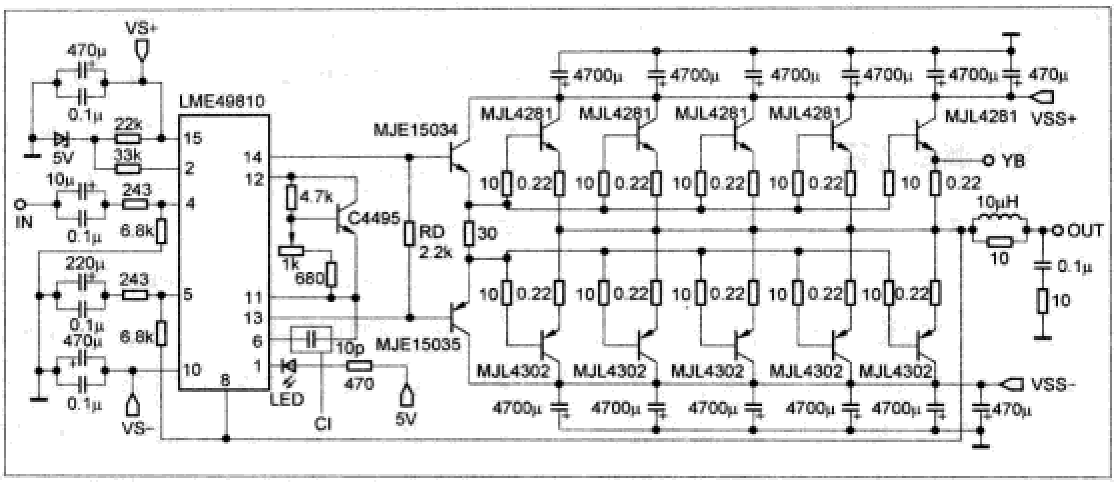


图2 功放原理图

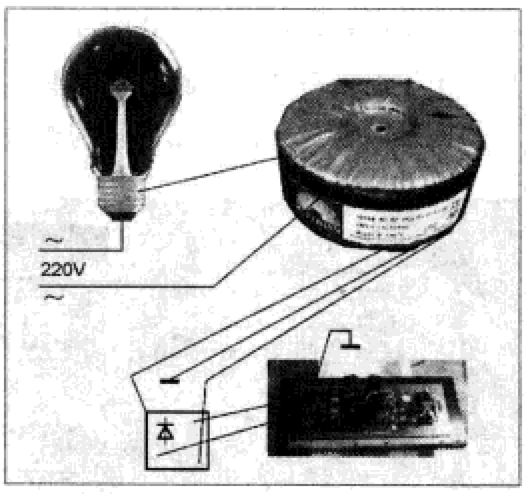


图3 调试连接图

LME49810这片IC对电源的要求是比较高的，如果有朋友给IC独立供电，特别对电源的负压要慎重。当负压不够稳定、还有走线不合理的时候，螺丝刀随便碰触PCB上的地，就有可能自激烧元件了。所以建议大家在调试未确定或不正常的时候，在变压器的初级串一只小功率灯泡，多少能起点保护作用。等调试接近尾声，准备安装大功率三极管的时候，再换功率大些的灯泡。具体连接如图3所示。很多新手不习惯用灯泡，如果自激了或者接错线了，或者大管焊反了，会烧毁好多东西或者牛（变压器）狂叫等。所以，在调试功放时，连个灯泡到变压器的初级，在大电流下可以有一定的保护作用。当然你如果调试的是大甲类功放的话，可用一对管在小电流状态下测试。

地线问题

经常会碰到制作LME49810的朋友来沟通交流声问题，不接前级没有交流声，接了前级就有交流声，而且怎么折腾地线，就只好一点点，并不能完全去除交流声。这其实是因为地

AB类状态下的功率

	100V/350mA	±35V/3.5A
A类	1.96W/8Ω	98W/4Ω,60W/8Ω
B类	500W/8Ω,1000W/4Ω	60W/8Ω,120W/4Ω
静态功率	170W	60W/8Ω,120W/4Ω

成本估算

项目	规格/数量	价格（元）
变压器	600VA（电流级）一对	420
	100VA（IC用）变压器一对	100
	（30VA（扬声器保护用）变压器1只	20
变压器罩	大电流的一对	70
	小电流的直接拆损坏的电脑电源（免费）	
电源板	洼田 一对	120
机箱带散热	中号机箱带散热	420
散热铜板	贴在散热片上匀热作用	300
扬声器保护	带输出过流扬声器保护板	36
功放板	包括板上元件、滤波电容、整流、大管等	600
杂项	如杂带、锡、热缩管、螺丝等	100

线环路而导致参考地的干扰源进入了信号地。地线这个玩意儿，我总结为一句话：这是非常简单而又极难对付的一条线。有时候信号地线接不好，从参考地中会导入噪声，引到信号端被放大后出现交流声。还有，常说的地线环路有交流声也多数类似。有时候因为没有严格做到一点接地，导致地线环路引起交流声。这个地线的问题，我的条件有限，无法去测试干扰源头在哪儿。我只能把布局画在纸张上，然后画出几种接地的方案，一个个去测试和验证。起初用一只大功率变压器给电流级，然后2只分别给电压级……经过多次测试，在LME49810独立供电的情况下，要么整机1只变压器，要么4只变压器（L和R分别各用两只变压器来负责电压级和电流级的供电，然后再一点接地。只要参考地的点找对了，就非常好解决因为地线环路导致的交流声），这样比较容易解决地线问题。

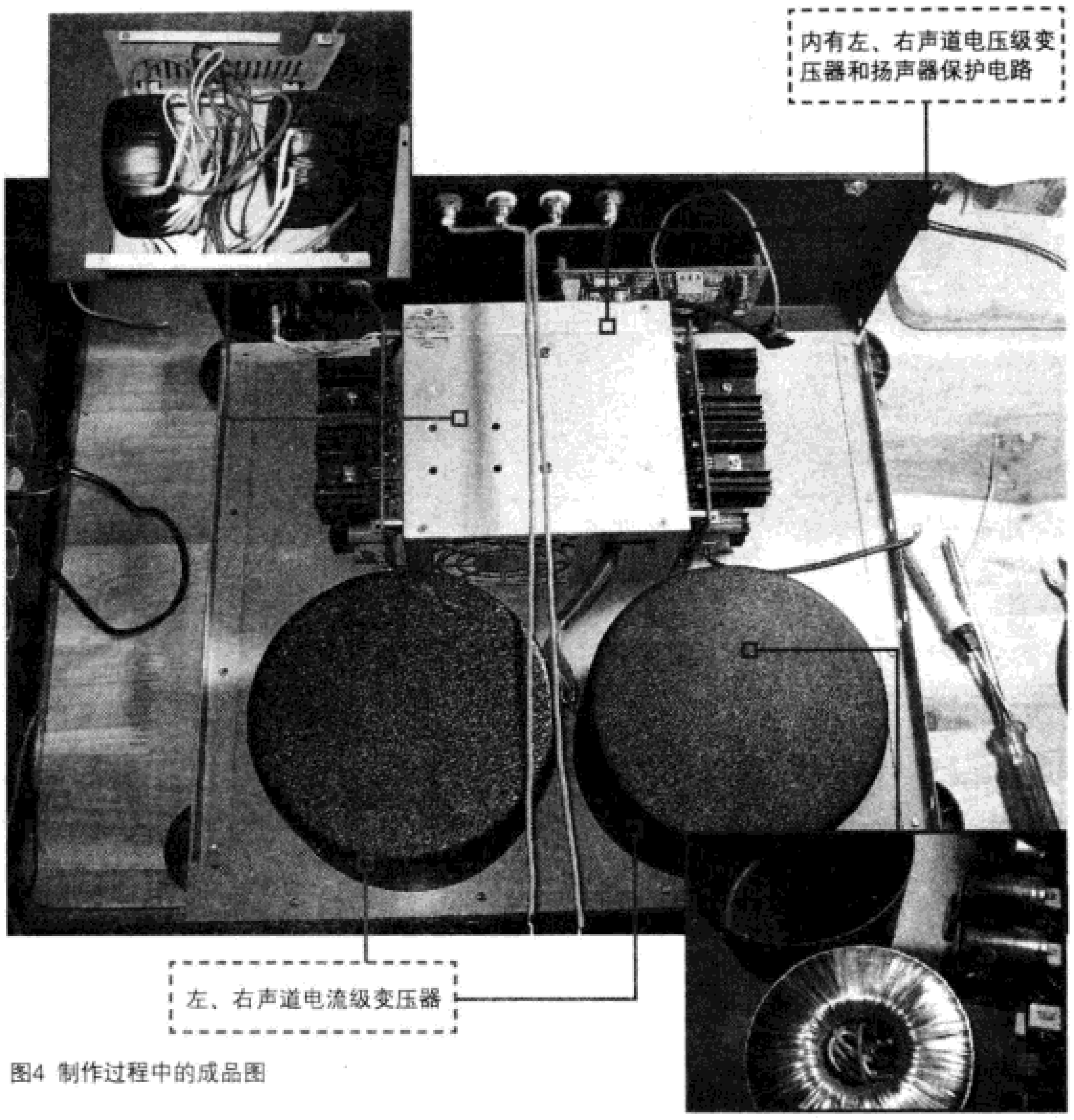


图4 制作过程中的成品图

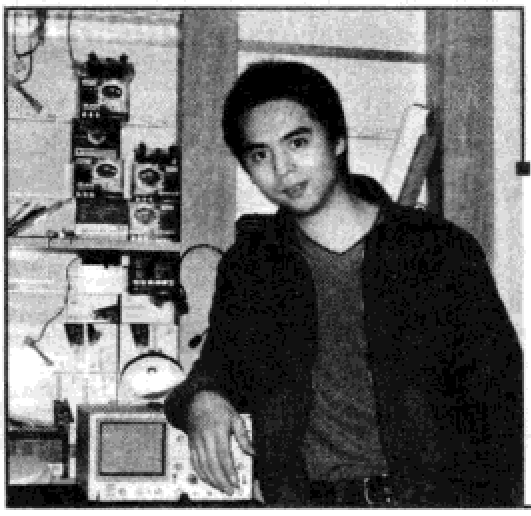
屏蔽问题

屏蔽也同样重要的，在信号端屏蔽信号线串入的干扰，给变压器加个屏蔽罩等都是有效的屏蔽。变压器的屏蔽罩要用磁铁能吸上的材料来制作。因为我们市电是50Hz，低频要用铁皮类的来屏蔽，而高频要用铜箔，铝箔等屏蔽。

功率问题

LME49810的功率设置很灵活，因为它的工作电压范围较宽，可以在±20~±100V的电压下工作，在±100V下，B类输出的功率就大了。如果要调整成A类的话，建议以低电压大电流来获得大功率。众所周知，A类的效率非常低，推挽A类最多为50%，单端的A类最多为25%。印象中B类的效率78.5%是极限。以下功率参数只是理论值。功率还有分不失真功率，峰值功率等，仅以业余的角度做一个参考。

最后介绍一下当时试听功放的系统：信号线前级到后级：怪兽线；信号线DAC到前级：DIY的西电线。CD：KW 8010 PH300R。后级电源线：英国LINN/DIY电源线。前级：自己DIY的高文线路前级功放。后级：自己DIY的由LME49810组成的功放。音箱：DIY的HM/猛牌/MFA/HP。



这款功放的成本在2200元左右，如果节省成本，1000元左右也可以组装一台不错的功放。这看你怎么制作和选材了，其实我算是比较浪费的了。

频响因为没有条件测试，也就不上了。下次如果有时间和精力，我会自己设计PCB，再次制作LME49810和LM4702。到时候要用AP测试一下，看看和理论值差距大不大。图4所示的是制作过程的成品图。

个人简历

本人来自福建沙县，现年26，在沙县为数不多的烧友里年纪最小。喜欢动手自己打造Hi-Fi器材。由于基础相对薄弱，走过很多弯路。DIY座右铭：不断地去尝试，实践积累知识。别为一点曲折就停下，那样你永远都走不到终点。

第八届音响DIY大赛三等奖

自制高性能纯FM调谐器

◎吴金贤

记得很小的时候过生日，母亲买了一台小收音机给我，我如获至宝，每天睡觉都要听到入眠，虽然那时的广播节目不是很丰富，收听的效果也远没有现在的好，但是我还是听得津津有味……从那时起我深深地爱上了收听广播节目，那是属于自己的一片小小天空。

现在我已是快奔三的人了，还是忘不了那份情怀，只要有空便会打开收音机尽情聆听。一向喜欢DIY的我一直有一个梦想，就是制作一台高品质的FM调谐器。通过将近半年的构思及收集元件，参考了大量资料，一台高灵敏度高保真的FM调谐器的设计思路已成竹在胸了。

本调谐器从设计之初就力争要高起点，除了电路板精心设计之外，FM的中放，鉴频，立体声解码用的全部是最好的集成电路，比如LA1235中放鉴频电路（信噪比88dB，失真度0.015%）、LA3450 PLL立体声解码电路（信噪比101dB，分离度60dB，失真度MONO 0.005%，STEREO 0.015%），电容全部采用进口高品质电容。

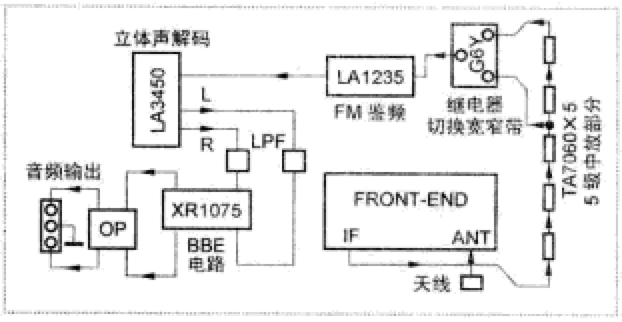


图1 Hi-Fi FM调谐器结构示意图

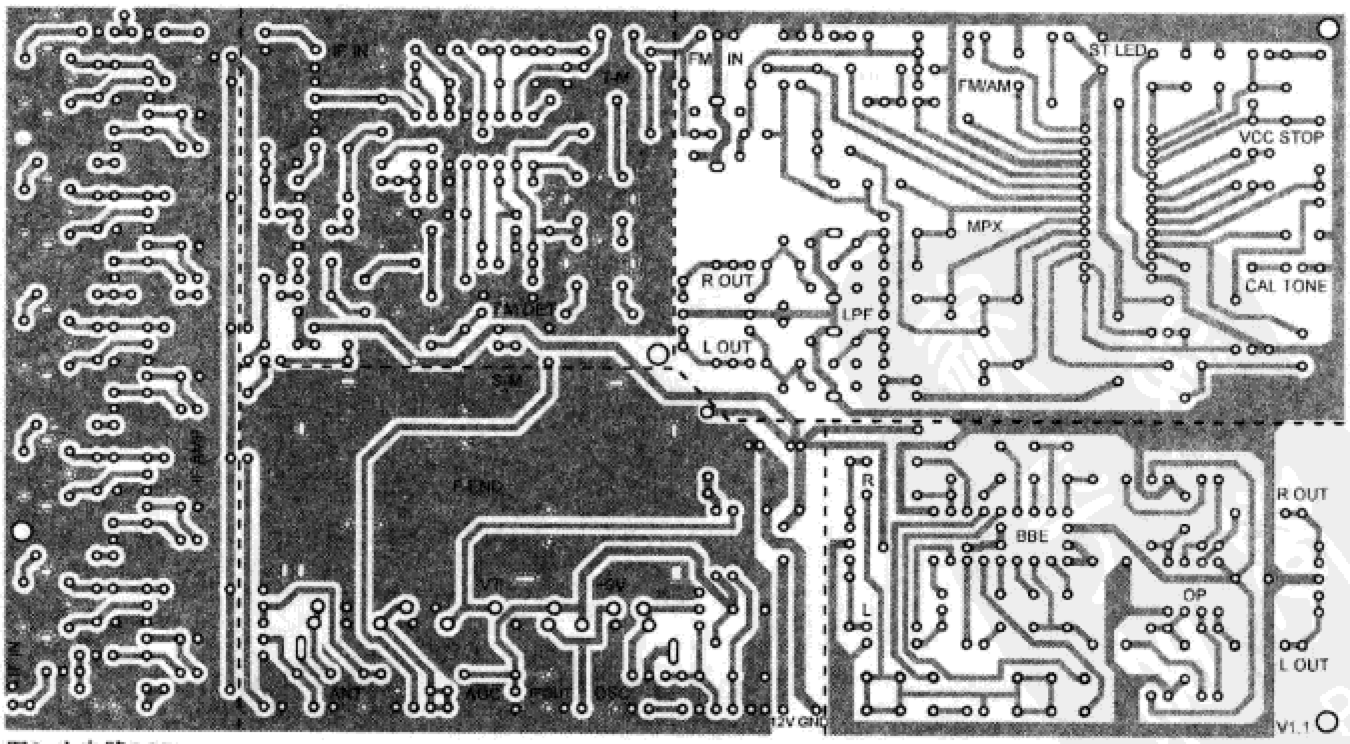


图2 主电路PCB

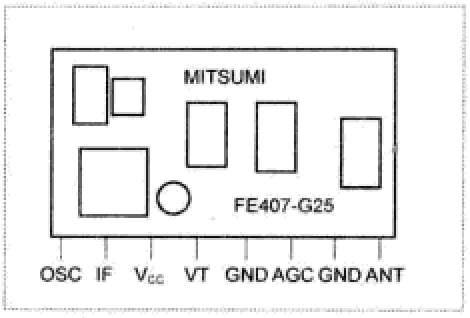


图3 高频头示意图

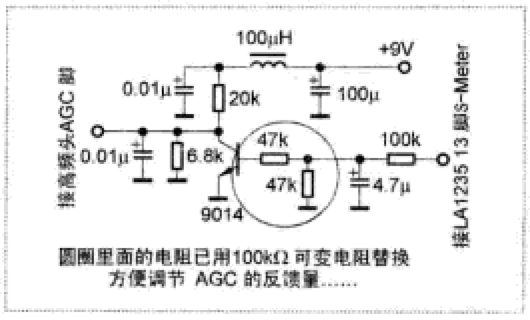


图4 AGC电路

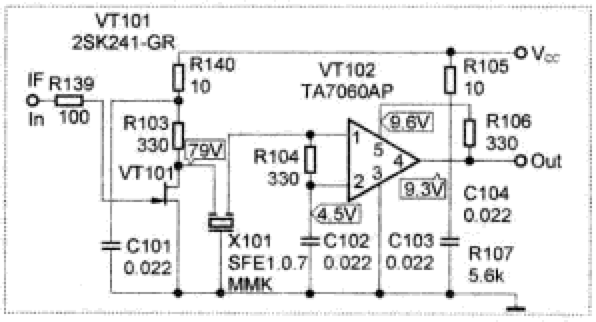


图5 10.7MHz中放电路

整个调谐器分成主电路和辅助电路，下面分别介绍电路特点。

主电路部分

1. 电路结构

电路分成主电路和辅助电路，主电路包括高频头、中放电路、鉴频电路、MPX解码电路及BBE缓冲电路（图1）。

手头正好有200mm×110mm的PCB空板，通过反复排版设计，将整个主电路部分完美地放了进去，每个部分既能相互独立又能有机结合，如果需要，每个部分还可以锯下独立使用（图2）。

2. 电路组成和元件选择

高频头电路

高频头的作用就是把天线收到的无线电台信号转变为中频信号。由于高频头处于整机的最前级，所以必须选用高灵敏、低噪音高频头。俗话说得好：唯有好源头才有活水来。这里采用的是成品的米兹米4连高频头（图3），全分立元件，高放电路采用双栅极场效应管，且第二栅极受控于AGC，这对防止本地电台信号过强而导致阻塞起到了积极作用。AGC启控取之LA1235的13脚（场强输出），通过控制9014的基极电流来控制高频头的AGC电压，实际启控得相当好（图4）。

10.7MHz中放电路

中放部分电路参考先锋F-91的电路（图5），采用TA7060组成5级放大。对于一台FM调谐器来说，中放电路的好坏直接决定了整机的性能。因为整机所必须的选择性大部分由中放电路来保证，高频头直接输出的中频信号强度不够，不能为后级限幅器提供足够幅度的信号，这里选用TA7060作为整机的预中放，每个TA7060在12V电源电压的增益是30dB，5级就是150dB，再加上输入段的一级2SK241-GR缓冲，也能提供大约27dB的增益，结合陶瓷滤波器和中频变压器的衰减，三级宽带大约能提供60dB的增益（3dB 280kHz），五级窄带大约能提供65dB的增益（3dB 150kHz），这样兵分两路，用G6Y高频继电器来切换，兼顾Hi-Fi性和选择性。制作好的电路板如图6所示。

10.7MHz陶瓷滤波器选用优质的村田滤波器，宽带的用SFE10.7MA，窄带的选用SFE10.7MJ，同时适当选用带GDT超低群延时的SFE10.7MX-2，简单

附表

品名	3dB带宽（kHz）	20dB带宽（kHz）	插入损耗dB	3dB带外衰减量	GDT（群时延指标）
SFE10.7MA5	280±50	≤650	≤6	≥30	--
SFE10.7MS2	230±50	≤600	≤6	≥40	--
SFE10.7MS3	180±50	≤520	≤7	≥40	--
SFE10.7MJ	150±50	≤400	≤10	≥40	--
SFE10.7MX-2	220±40	610（560）	12.5（10.5）	30（37）	0.15μs（80kHz）
▲输出输入匹配阻抗：330Ω					

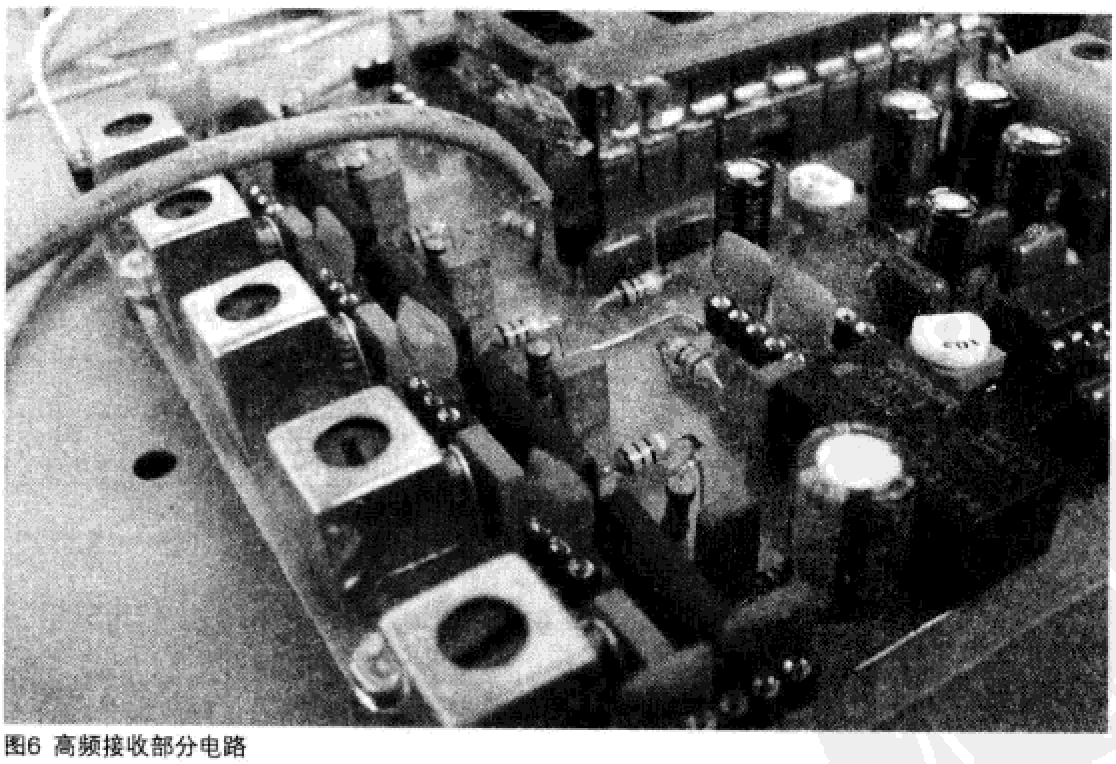


图6 高频接收部分电路

地说使用带GDT的滤波器，可以提高选择性和立体声分离度，可以说是补品级的元件，但不敢多用，会带来较大的衰减。有关陶瓷滤波器的资料见附表。

鉴频电路和MPX解码电路

鉴频电路（图7）和MPX解码电路（图8）选用LA1235和LA3450的标准电路，实际操作发现有些元件极难购到，尤其是LA1235的鉴频线圈，好不容易才找到Sumita原装线圈，还有就是LA3450输出的LPF电路，这里采用的是两个拆机的原装MITSUMI滤波器（能用上是件很幸福的事情），其余元件按电路对号入座即可，之后就是调试了。

BBE缓冲输出

输出部分采用BBE电路（图9）+运放缓冲输出电路（图10）。BBE可修正和恢复音频系统由于各种原因而导致的信号损失和相位偏差，从而使声音真实地重现，使聆听者感觉高低音丰富，定位感、清晰度、明亮度接近理想的现场效果，众所周知，FM输出的音频上限是15000Hz，而BBE正好可以将FM的音频谐波提升到接近20000Hz，加上对高低音的相位调整，使得听感明显变好，可以说是绝配。

辅助电路

辅助电路包括电源电路、频率显示电路、控制电路等，这部分设计在100mm×150mm的PCB上（图11）。

1. 电源部分

220V市电先通过一个TDK滤波器，把市电的干扰减少到最小，15W的小R型变压器3组16V输出，用在这里正好合适。主电源采用2组16V经两个肖特基二极管组成全波整流，然后一路经LM317稳压到12V供主板使用，另一路经12V稳压二极管，再经过TL431高精密稳压后供给高频头作调谐电压，使得最后得到的调谐电压稳如泰山，

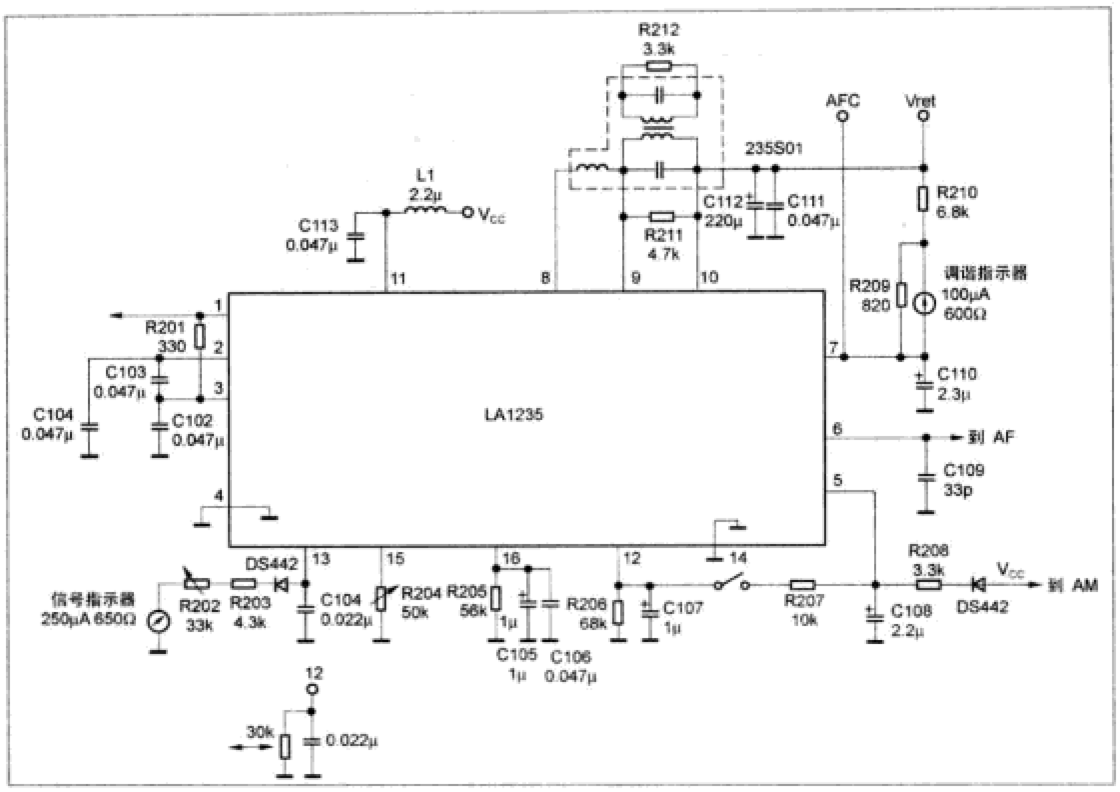


图7 LA1235原理图

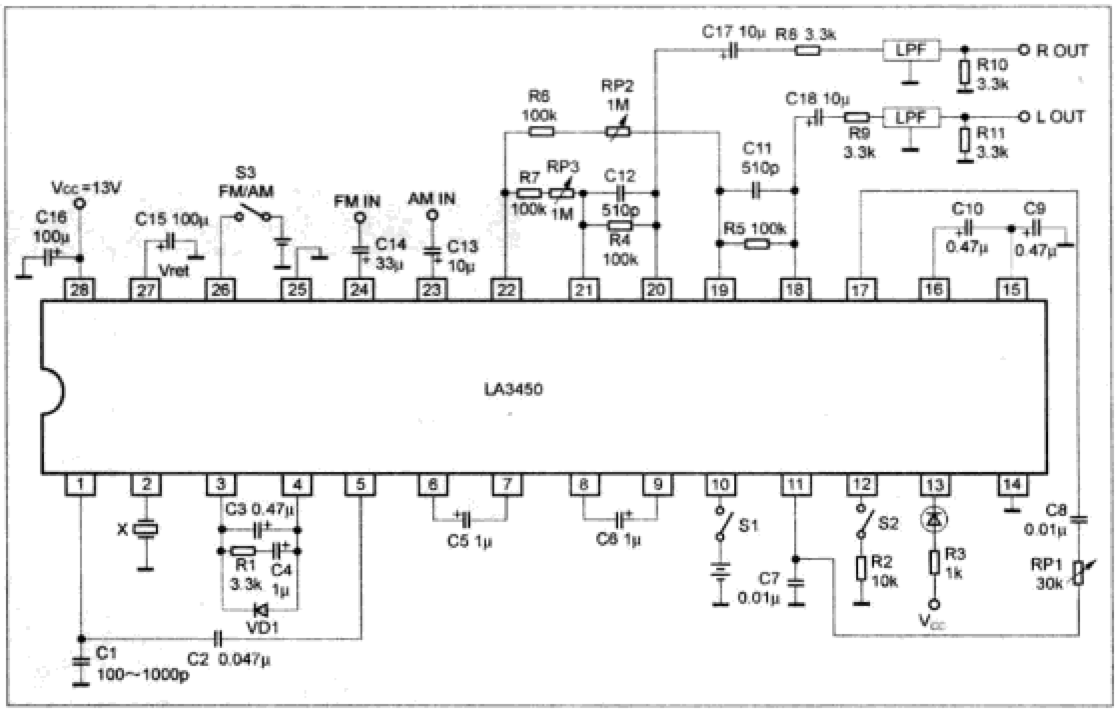


图8 LA3450原理图

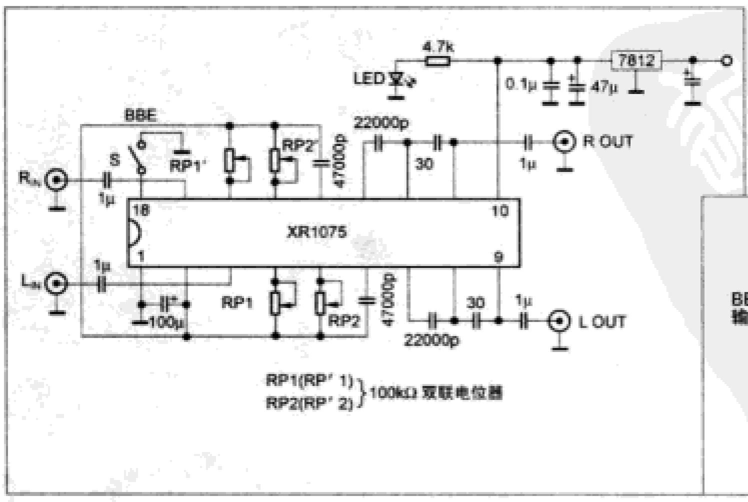


图9 BBE电路

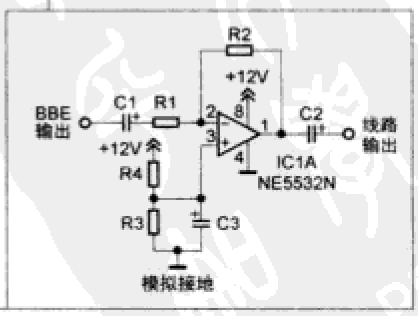


图10 运放缓冲输出电路

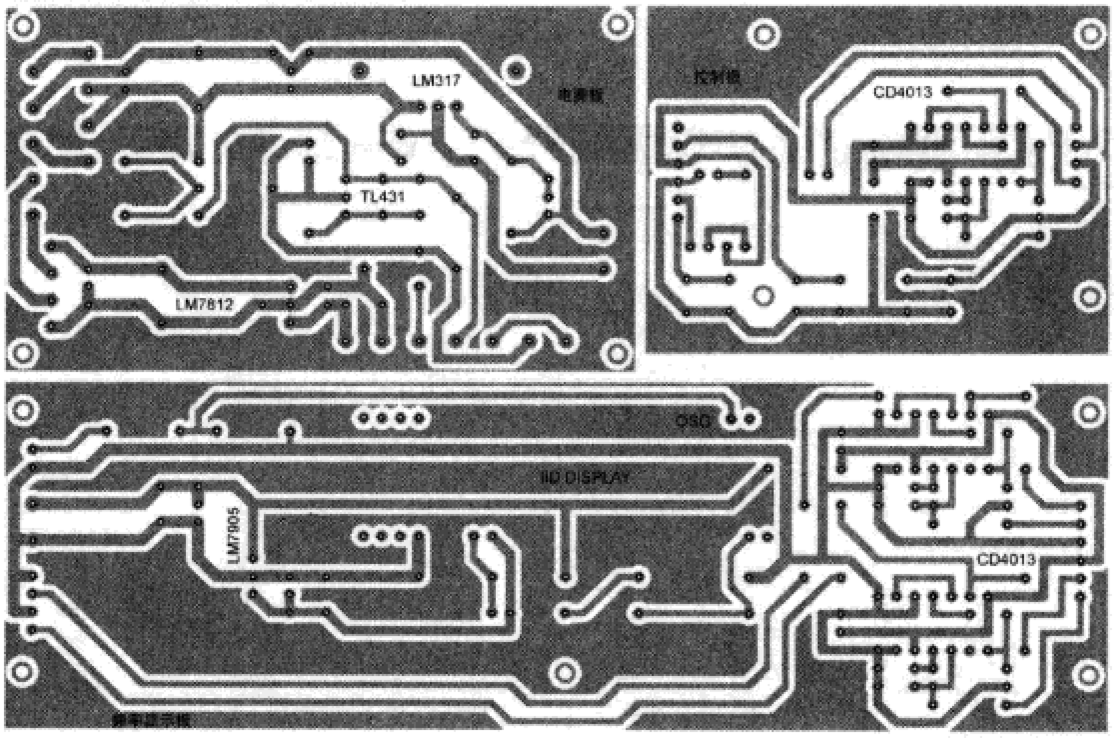


图11 辅助电路的PCB

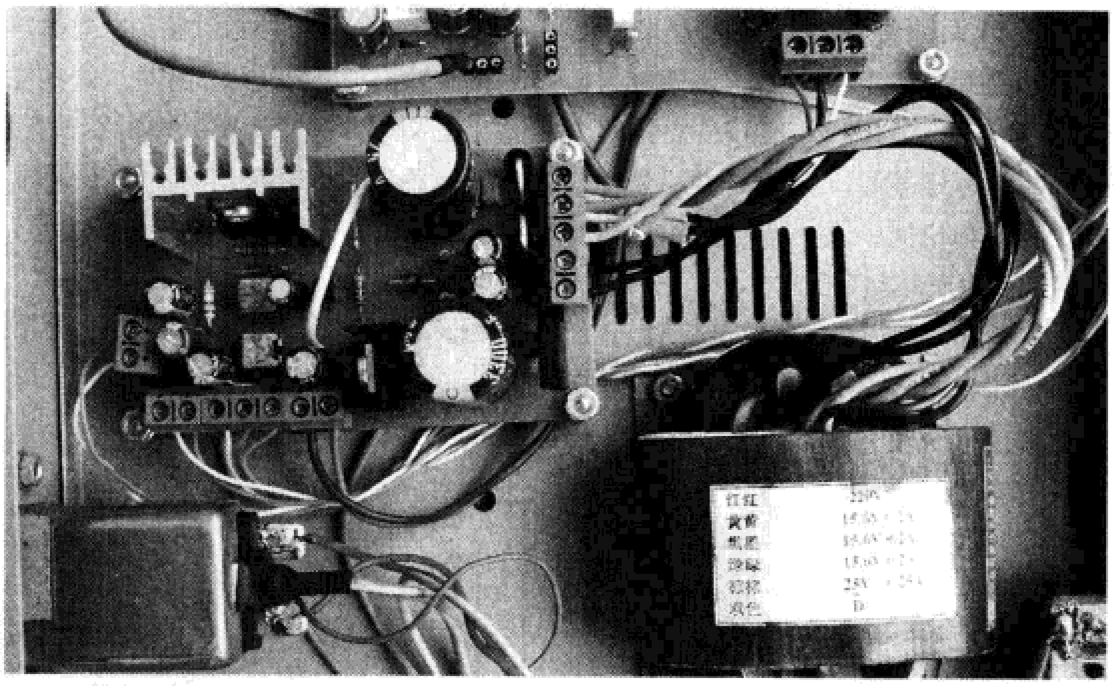


图12 电源部分

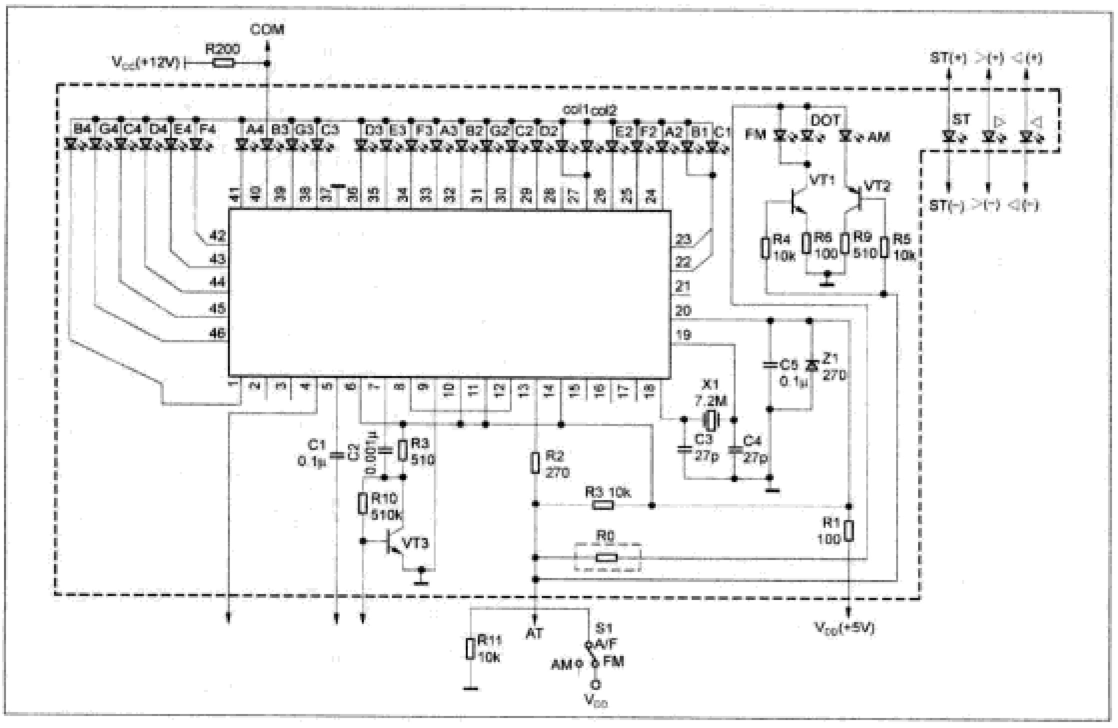


图14 频率显示电路

所以电台调准后基本是不会跑台的。另外一组16V整流后经LM7812供给面板及频率显示用（图12）。

2. 频率显示

频率显示采用成品的FM频率显示模块（图13、图14、图15）。

控制电路

控制电路采用CD4013组成双稳态触发器，来控制单声道/立体声和宽窄带的切换（图16）。

调试及心得

制作过程其实并没有遇到太大的困难（图17~图21），基本是一次成功。说到调试就是调节鉴频器和5个中频变压器（中周）。由于手上没有专用的设备，就用万用表接到LA1235的场强输出脚（最好是指针表，很直观），调到一个信号稳定的本地电

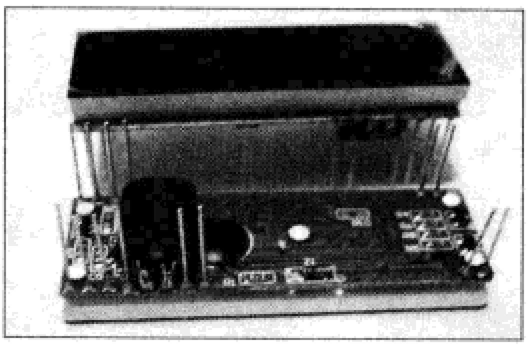


图13 成品的FM频率显示模块

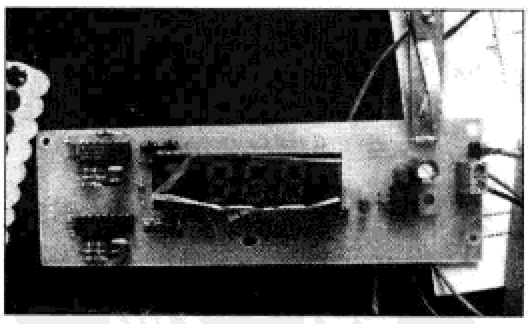


图15 做好的频率显示器

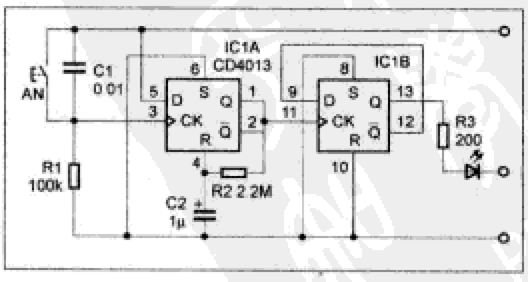


图16 控制电路

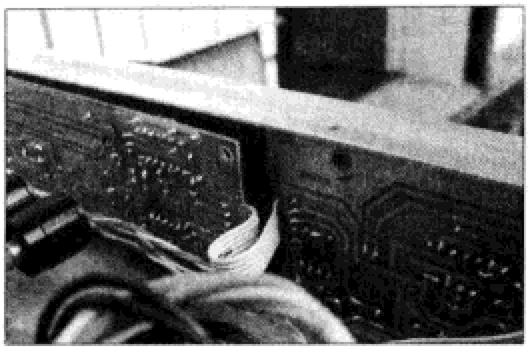


图17 频率显示和控制部分安装

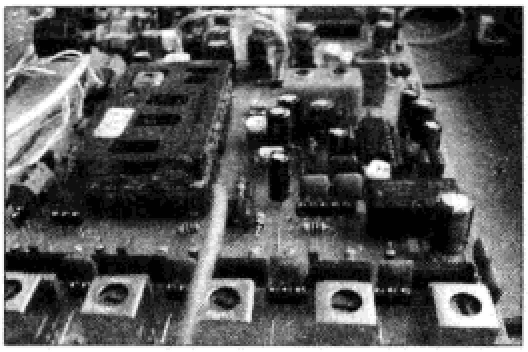


图19 主机板局部——中放部分

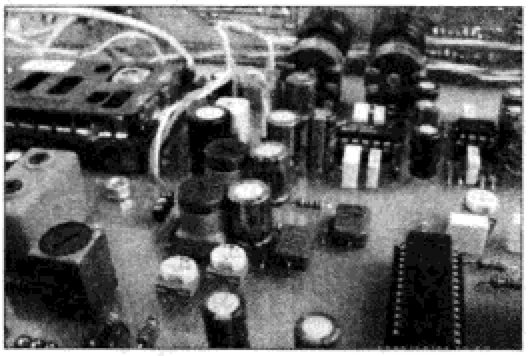


图20 主机板局部——立体声解码

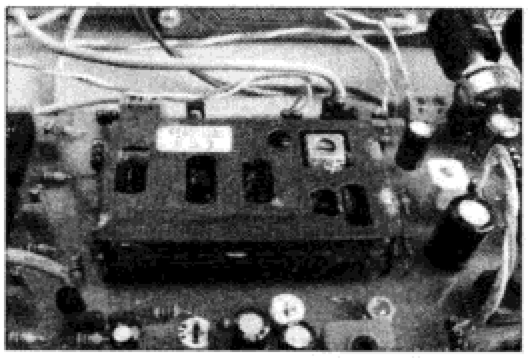


图21 米兹米高频头

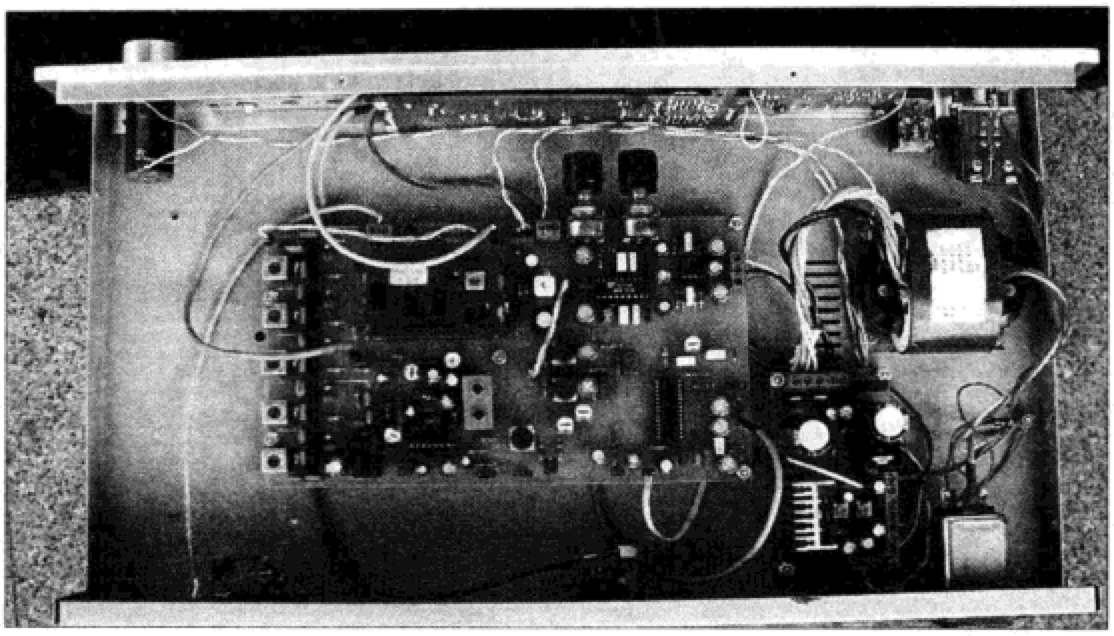


图18 机箱内整体布局

台，然后拔掉中频变压器后面的陶瓷滤波器，做简单连接就是把高频头出来的经2SK241放大后的IF信号直接接到LA1235上来，用无感内六角来调节双鉴频器，先得调出声音，然后再慢慢细调把万用表指针调到最大，这时声音最洪亮最好听。接着就是调试中放了，每一级中放都独立，必须一级一级地调整，调整中频变压器（中周）的时候，眼睛看表，把表的数值细调到最大即可。这样经过反复调试，机器就基本在状态了。还有就是立体声分离度的调节，用FM立体声发射器作为信号源，调整RP并尽量使一个声道输出时，另一声道的输出最小，使立体声分离度最高。

和经典的道奇收音机做比较，用1m长的电线作为天线。首先，此机灵敏度就比道奇收音机要多收15个台左右，其实道奇收音机的水平已经是相当好了(接收30个台不在话下)，在实际搜索中发现此机最好状态是能把相差0.1MHz的两个台分离开来，干扰甚小。我想这都是5级窄带中放的功劳，收上海的101.7MHz和103.7MHz当然不在话下了，离我们绍兴可是有200km啊，之前用道奇收音机还是久攻不下啊。论音质，凭借LA1235和LA3450的实力，无论是谐波失真，还是立体声分离度，都比道奇收音机要好，听惯了道奇收音机再来听此机，会给人耳目一新、拨云见日的感觉。调到96.8MHz杭州音乐台，再来首流行音乐，那声音清脆悦耳，动感十足，让人久久不愿离开。

写到这里，忽然间有个想法，就是打算在2010年里再DIY一台，把不足的地方予以改进并加入创新的概念。学习山水收音头做法，就是采用全插件设计，把高频头，中放，鉴频，立体声解码和输出部分分别做成模块，焊插在主板上面，要是觉得哪个模块不满意，就可以单独加以升级，而不用动全局，这样玩法肯定会更有意思。

个人简历

说起DIY，已有二十几年的历史了。小的时候很贪玩，脑袋里经常冒出一些稀奇古怪想法，这些想法怂恿着我要把它们制作出来。曾用玩具车里的小电机制作过一个风力发电机，虽然只能点亮一个小灯泡，可那时的喜悦至今记忆犹新。平时总爱去逛旧货市场，因为我在那里总能淘到好东西，这些东西经过我的打理又能成为一件宝贝！后来发展到在网上淘宝，并且认识了好多志同道合的朋友。尤其是两年前我创建了一个关于无线电接收的QQ群，赢得了更多的朋友喜欢，通过和大家一起学习和探讨，我增长了见识，开阔了眼界，这是我每天最快乐的事情了，也希望有更多爱好DIY、爱好无线电的朋友加入，让我们一起快乐、一起成长。

音箱基础知识

倒相音箱的设计

◎曾念民

我们知道电动机空载转动时电流最小，阻抗最大。当我们给电动机加上负载后，电动机运转时电流会增大，阻抗会降低。所以我们可以通过测量电动机的阻抗来计算出电动机负载的大小。假如我们将扬声器看成是一个直线电动机，可以通过测量扬声器的阻抗来判断扬声器负载的状态。

假如扬声器是一个4Ω的纯电阻，对于20Hz~20kHz的音频信号而言，不论频率高低，都是4Ω的阻抗。但是扬声器的音圈是一个线圈，因而我们将其看成是一个电感。对于电感而言，频率越高阻抗就越大，所以扬声器的阻抗曲线上是频率越高，阻抗越大（图1）。

对于低频扬声器而言，频率的影响还不大，但对于全频扬声器而言，由于扬声器要重放高频信号，扬声器高频阻抗过大，使得高频信号难以通过音圈，对于高频重放不利。有些扬声器使用1Ω阻抗的音圈，这样的音圈阻抗很低，只用扁线来绕几圈即可，电感量很小，以此来提升扬声器的高频重放性能。

接下来是扬声器谐振频率处的阻抗，通过以前的介绍我们得知，共振使得扬声器的负载最小、阻抗最大，因此，在扬声器谐振频率处的阻抗曲线是一个峰（图2）。

当我们将扬声器装入倒相音箱，由于倒相音箱的反共振，相当于给扬声器加了个很大的负载，扬声器阻抗降低，阻抗曲线会在反共振状态处形成一个谷（图3）。

根据倒相音箱的工作状态，其阻抗特性曲线有三种。

第一种是倒相管共振频率稍低于扬声器谐振频率，阻抗曲线双峰等高，这是倒相音箱最常用的阻抗曲线，也是DIY音箱爱好者常用的阻抗曲线（图4）。

第二种是倒相管共振频率接近扬声器谐振频率，阻抗曲线第一峰稍高于第二峰。常用于音箱体积比较大，低音扬声器折环比较软的情况，需要依靠倒相管反共振来抑制扬声器谐振，加强低音控制力（图5）。

第三种是倒相管共振频率低于扬声器共振频率较多，阻抗曲线第一峰低于第二峰，充分使用扬声器谐振频率来提升效率，又利用倒相管共振来加强低音。常用于音箱体积小，又需要高效率，而低音扬声器控制力还不错的舞台音箱或有源音箱系统（图6）。

以上是倒相音箱阻抗曲线的三种状态，一般情况下，可以根据倒相音箱设计目的来调整倒相管长度，改变双峰的高度来取得合适的低音效果。

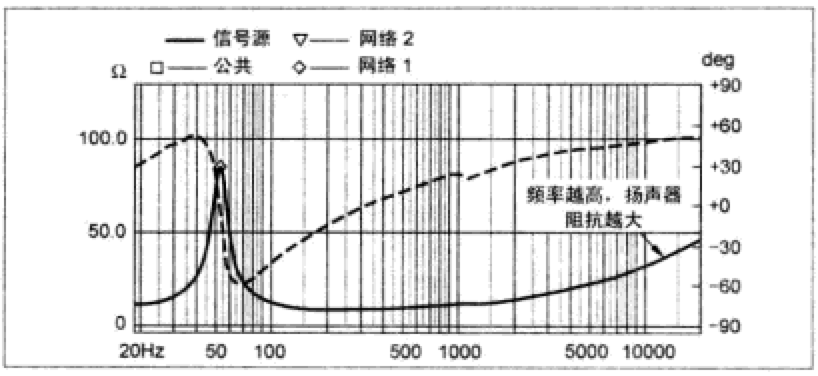


图1

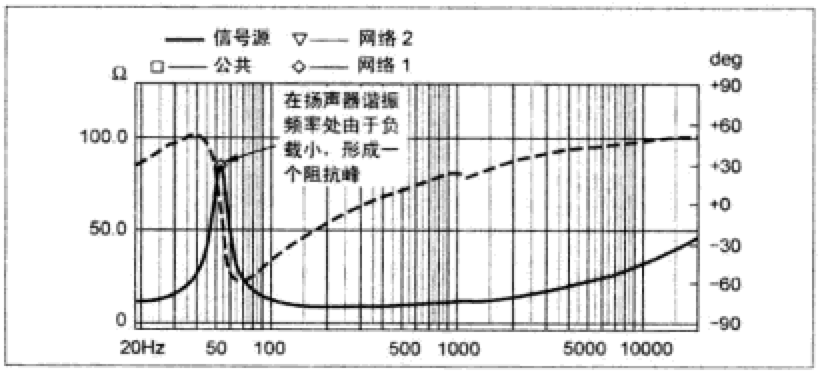


图2

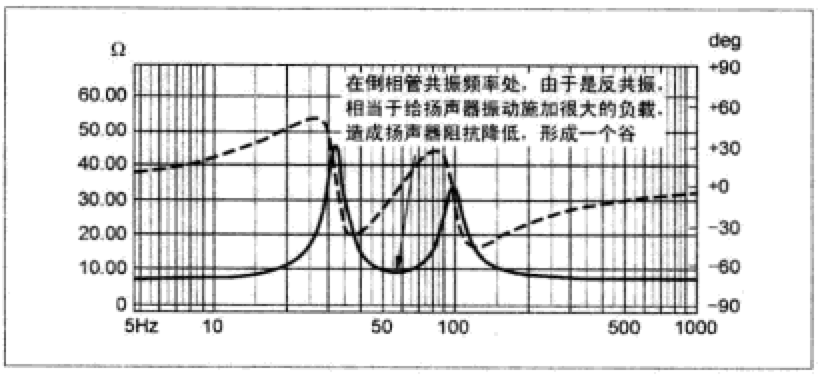


图3

究竟何种扬声器适合设计成密闭式音箱？何种扬声器适合设计成倒相式的？对于无源音箱系统而言，短行程扬声器适合设计为倒相式，而长行程扬声器（直径大于5英寸的）适合设计为倒相式的，小于5英寸直径的适合设计为密闭式音箱。对于有源音箱系统而言，几乎所有的扬声器都可以设计为倒相式的，而这样设计的理论依据是什么？

首先我们了解一下反复强调的扬声器“控制力”，扬声器的“控制力”在本文中的定义是：“扬声器纸盆的回中能力和扬声器工作时是否超出线性冲程”。

观看过“羽毛球”比赛的观众都可以看到这样一个现象：运动员每次击完球后都要回到场地中央，便于下次击

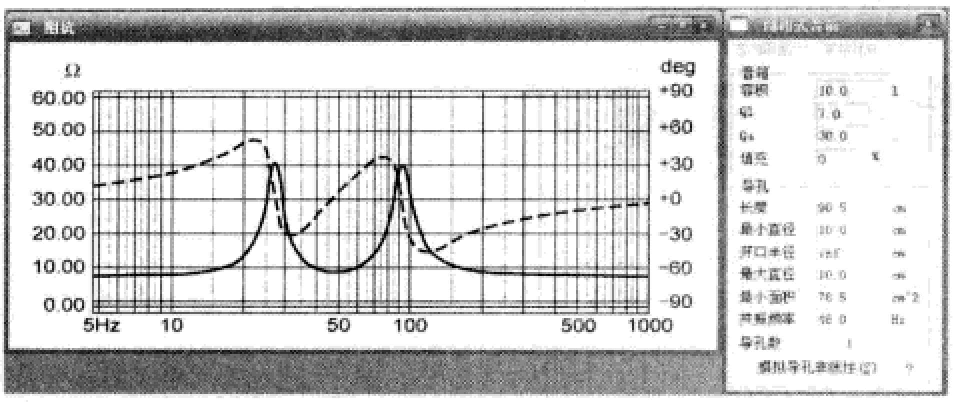


图4

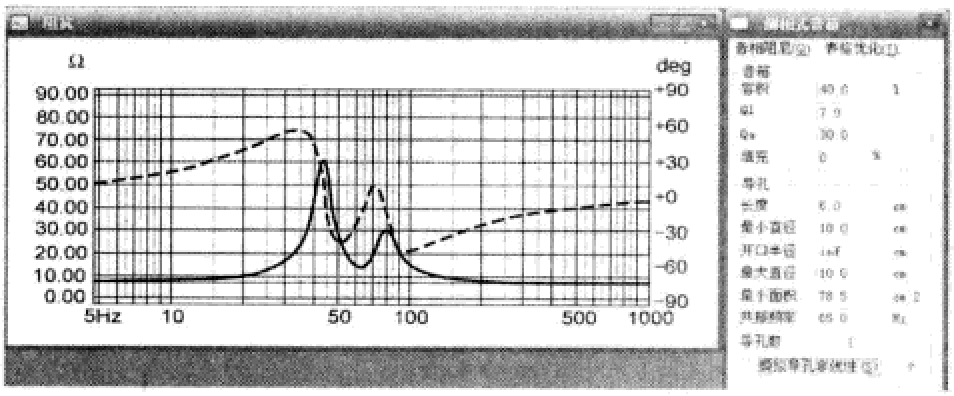


图5

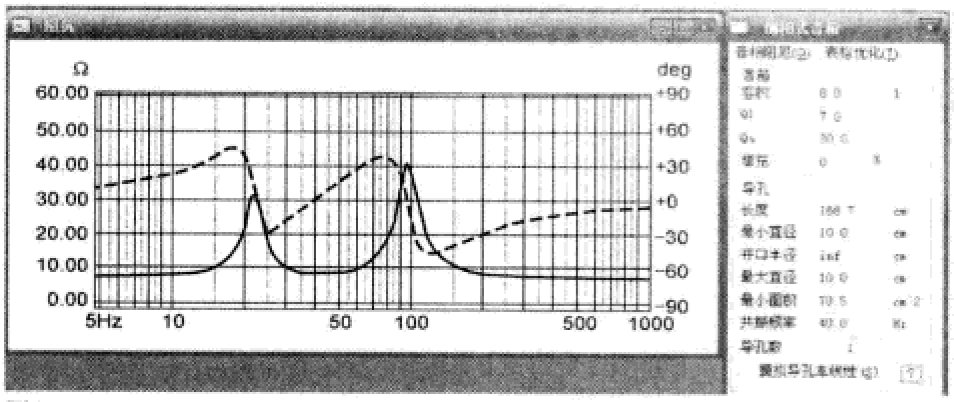


图6

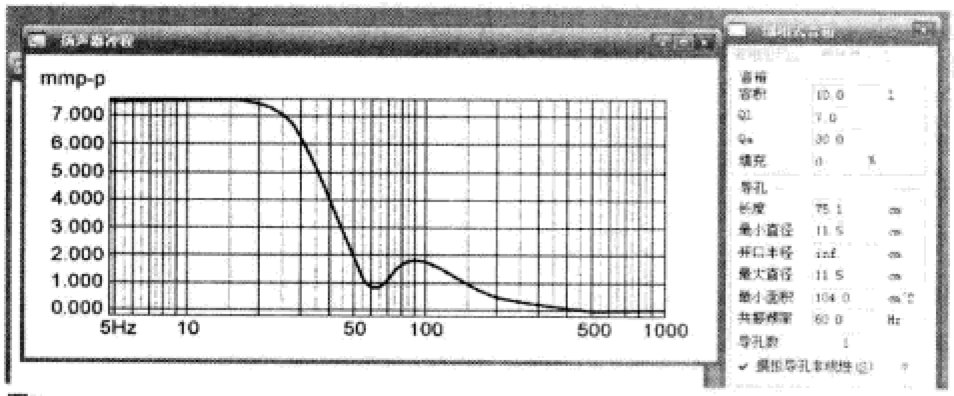


图7

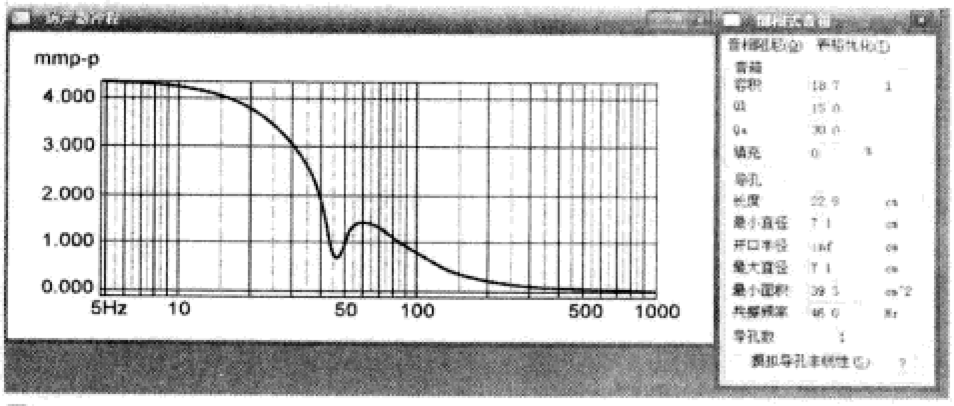


图8

球。假如运动员每次击球完毕后没有及时回中，下次击球就会很被动，对球的控制力减弱。扬声器也是如此，当扬声器纸盆每次大振幅运动后，也需要及时回中，假如纸盆不能及时回中，扬声器的控制力将减弱。假如扬声器纸盆没有回中能力，由于扬声器振动的非对称性，当听完一段音乐后我们也许要跑到门口外面将扬声器纸盆“捡拾”回来。

对于短行程扬声器而言，由于纸盆轻，折环比较硬，扬声器回中能力比较强。当扬声器纸盆工作超出线性冲程，纸盆也还可以及时回中，对低音的实际听感的影响还可以接受。所以我们可以将短行程扬声器设计成倒相式音箱，充分利用倒相管共振增加低频排气量来改善低频。

而长行程扬声器就比较复杂，由于纸盆重，折环很软，扬声器谐振频率低，扬声器回中能力弱。当纸盆工作超出线性冲程后，纸盆无法及时回中，对低音的实际听感的影响极大，造成低音听感浑浊，无力，所以我们需要将回中能力差的扬声器装入密闭箱中，依靠密闭音箱空气弹簧来帮助扬声器纸盆回中。当将一个折环很软的扬声器装入体积比较小的密闭音箱后，在保证不漏气的情况下，我们用手按压一下纸盆，让纸盆偏离中点，发现需要花费比较大的力气，纸盆折环感觉很硬，松开手后纸盆回中迅速，这就是密闭式音箱的空气弹簧——“气垫”强制让扬声器纸盆回中。因而能帮助折环很软的扬声器纸盆迅速回中的密闭音箱，也称为“气垫”式密闭音箱。

通过之前的对倒相式音箱原理的了解，我们明白了当扬声器振动频率高于倒相管共振频率时，扬声器相当于在一个密闭音箱中。当扬声器振动频率等于倒相管共振频率时，倒相管反共振于扬声器的振动，这时相当于给扬声器增加了一个很大的负载，在密闭和反共振状态，音箱都是给扬声器振动加负载，纸盆振动受控制，纸盆的冲程不大，迅速回中。但当扬声器振动频率低于倒相管共振频率时，处于声音短路状态，这时相当于减轻了扬声器负载，扬声器振动不受控制，冲程很大，减弱了扬声器纸盆回中能力，音圈很容易打底。

一个5英寸扬声器装入10L倒相音箱，为保证音箱体积和低频响应的平坦，倒相管共振频率设计为60Hz。根据输入1W功率时的冲程模拟，我

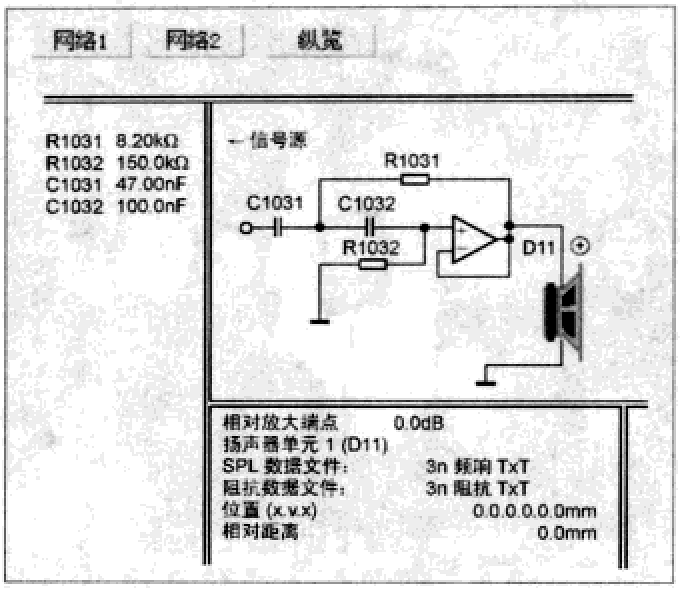


图9

们可以看到受倒相管反共振的影响，扬声器冲程从80Hz开始减少，当到达60Hz的倒相管共振频率时，扬声器负载最大，冲程最小。当频率低于50Hz时，扬声器负载急剧减少，冲程急剧增大，纸盆回中困难。在40Hz时扬声器冲程就达到了4mm，而在之前的介绍中我们得知，一个5英寸的扬声器线性冲程也不过是4mm，扬声器超出线性冲程，回中能力减弱，其结果就是造成扬声器“控制力”差（图7）。

我们用蔡琴的《渡口》中刚开始时的鼓声来测试低频，低于50Hz频率的能量很多，用《渡口》来试低频，只需要开1W的功率就能让这个5英寸的扬声器超出线性冲程。由于“控制力”差，低音浑浊、无力是显而易见的。假如是个4英寸扬声器，那么情况会更严重。

当5英寸和4英寸长冲程扬声器设计成倒相式音箱时需要特别注意，当重放大动态音乐时，只要频率低于倒相管共振频率，扬声器冲程就会急剧增加，音圈容易打底，“控制力”变差。当我们将4英寸或5英寸的扬声器设计成密闭式音箱时，即使重放低于50Hz的信号，密闭音箱也能通过“气垫”来帮助纸盆回中和“限制”扬声器冲程，不会造成“控制力”差的问题，所以要采用4英寸或5英寸长行程扬声器，如果经验不足，最好设计成密闭式音箱——对于无源音箱而言。

对于6.5英寸的扬声器，有效线性冲程一般为5mm，当设计成倒相式音箱时，在保证音箱体积与低频响应平坦情况下，倒相管共振频率可以设计到40Hz附近。同样是用1W的功率，当扬声器重放频率为40Hz时，扬声器冲程是2 mm，而常用的

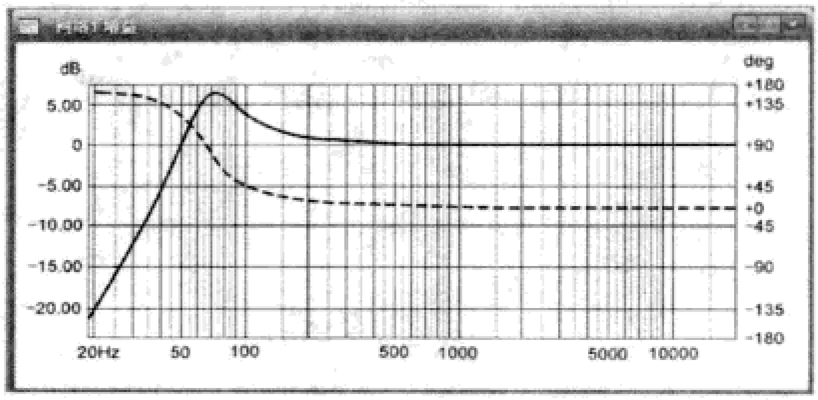


图10

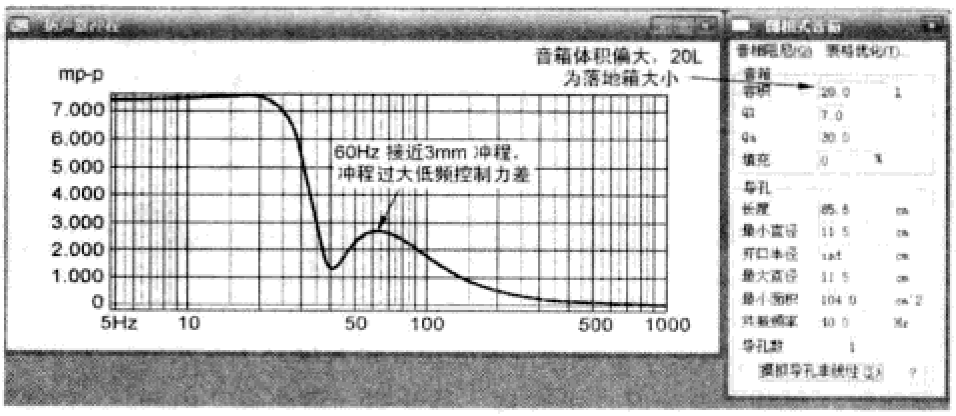


图11

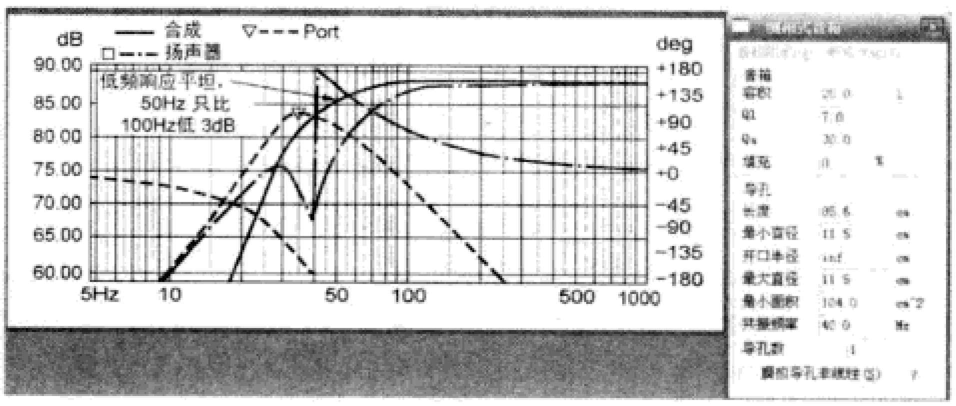


图12

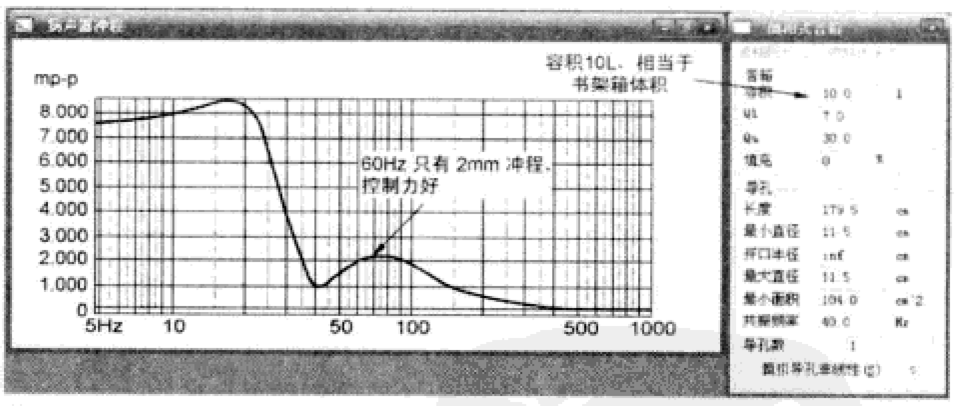


图13

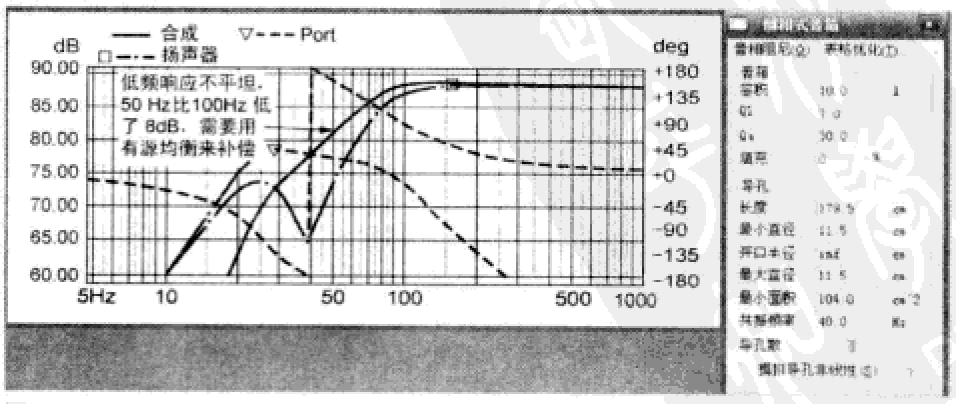


图14

北京音响爱好者联谊会正式成立

◎曾阳明

2010年4月10日北京音响爱好者联谊会正式成立了。来自黑龙江省、内蒙古自治区、山东省、湖北省、河北省、山西省、天津市等地一百多位无线电音响爱好者、收藏家汇聚到北京通亚世纪系统技术有限公司的听音室，隆重庆祝这一盛会。大家在一起谈器材，谈音乐，品味生活，提高水平，增进友谊，其乐融融。北京音响爱好者联谊会的宗旨是：创建一个资源共享的平台，增强音响爱好者之间的交流，提高音响爱好者技能和音乐欣赏水准，促进中华民族精神文明建设。

这次活动中奖品及演示器材是由一些团体和个人的资助，参加资助的团体有：无线电杂志社、北京通亚世纪系统技术有限公司、深圳极典科技有限公司、天津拉菲尔胆机、胆艺轩论坛、广播爱好者论坛；参加资助的个人有（按姓氏拼音顺序）：代小刚、顾顺平、郭平、贾育军、刘凯锋、刘勇、吕书东、马刚、裴海波、孙晓东、王杰、王志忱、谢俊杰、叶春强、曾祥振、赵晓华等。感谢他们对联谊会成立所做的贡献。

北京音响爱好者联谊会将会不定期展开各种活动，如DIY作品交流、器材点评、音响基础知识讲座、专题音乐欣赏等，希望北京及周边的音响爱好者们踊跃参加。

音乐信号中低于40Hz的低频并不多见，所以当要求不是很高时，6.5英寸以上的扬声器都可以设计成倒相式，在大动态音乐下基本上也不会出现扬声器纸盆超出线性冲程、纸盆回中能力减弱、低音控制力不足的情况（图8）。

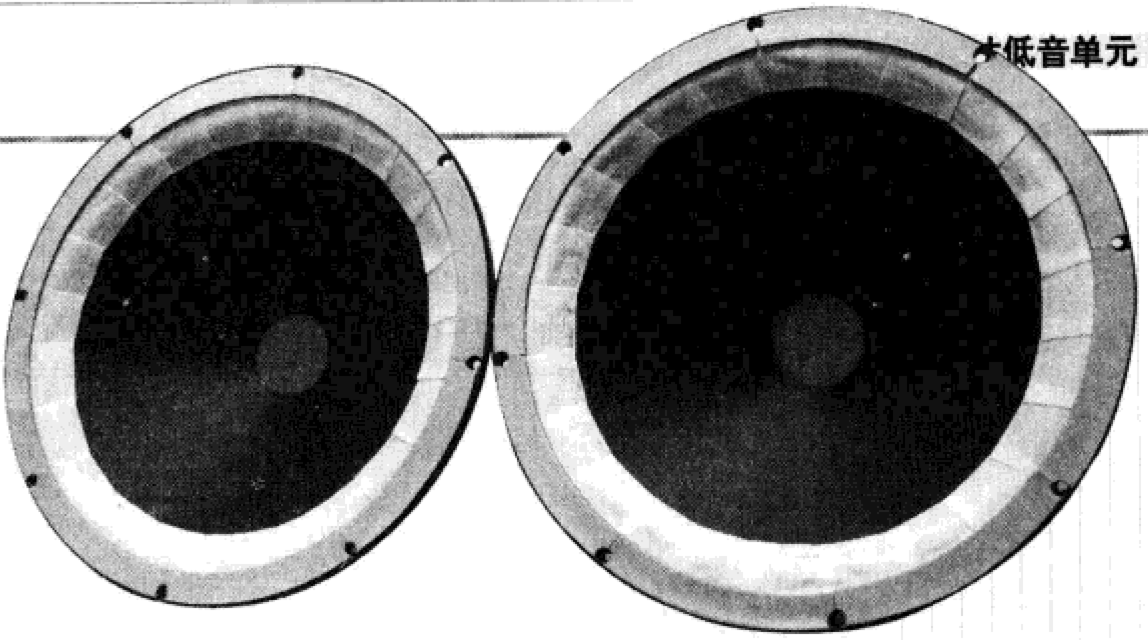
对于小于5英寸的扬声器，要想设计成倒相式音箱，想利用倒相式音箱来改善低频，可以考虑使用有源滤波器将低于倒相管共振频率的信号分量“切”掉（图9）。

图10所示的是一个为5英寸倒相有源监听音箱设计的有源滤波器的低频部分（后期会介绍）。从有源滤波器增益可以看出，低于倒相管共振频率（55Hz）的信号无法通过高通滤波器，被高通滤波器“切”掉了，而70Hz附近提升了6dB，补偿了低频响应的不平坦（图10）。这样就不会使得扬声器工作在倒相管共振频率55Hz以下而造成的扬声器冲程急剧增加、超出线性冲程、扬声器控制力变差、低频响应不平坦的问题，又可以利用倒相音箱提升排气量来改善低频的特性。所以对于有源音箱而言，不管是什么扬声器基本上都可以设计成倒相式音箱，利用倒相音箱来提升排气量，改善低频重放。然后再通过对有源滤波均衡器作有针对性的设计，以此来补偿由不合适的音箱设计所造成的问题。

由以上介绍可知，对小于5英寸直径长冲程扬声器而言，设计倒相音箱的难点在于，在妥协音箱容积和低频响应的情况下，音箱倒相管共振频率难以设计在40Hz附近，假如用大体积音箱将倒相管共振设计在40Hz附近，虽然低频响应平坦，但扬声器控制力差，音箱体积过大（图11、图12）。

假如我们缩小音箱体积，虽然能改善扬声器控制力，但会造成低频响应不平坦，需要依靠有源均衡来补偿低频响应（图13、图14）。

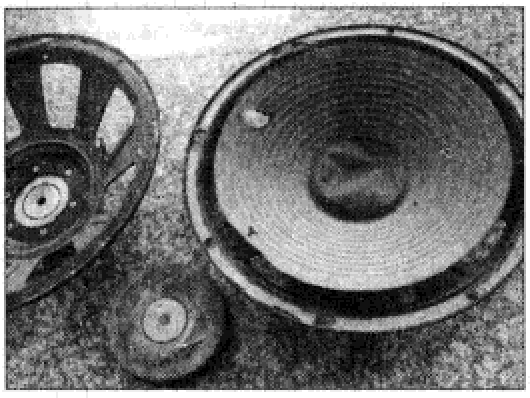
影响倒相音箱设计的因素很多，如果是有源音箱，可以不考虑低频响应的平坦性，只需要考虑音箱体积和低音控制力。假如是无源音箱就需要在音箱体积、低频响应、低音控制力这三个重要因素中妥协，而低于5英寸直径扬声器是很难妥协的，所以不推荐将5英寸以下（包含5英寸）扬声器设计成无源倒相音箱。



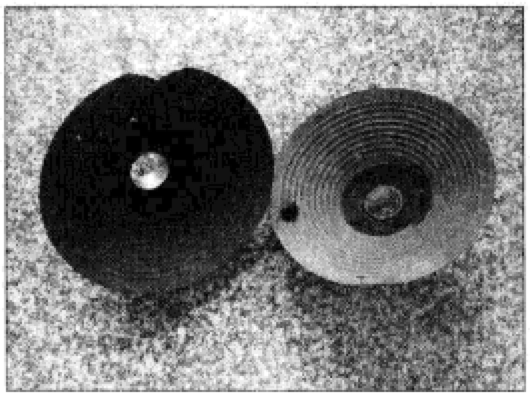
◎倪文贤

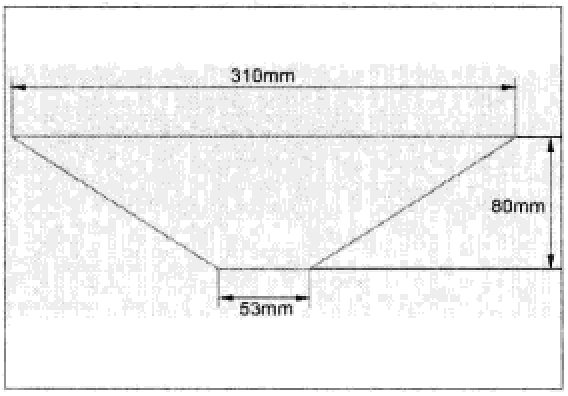
改造一对15英寸低音单元

01 从废品收购站收了一对破烂的15英寸扬声器，打算重新改造一下。

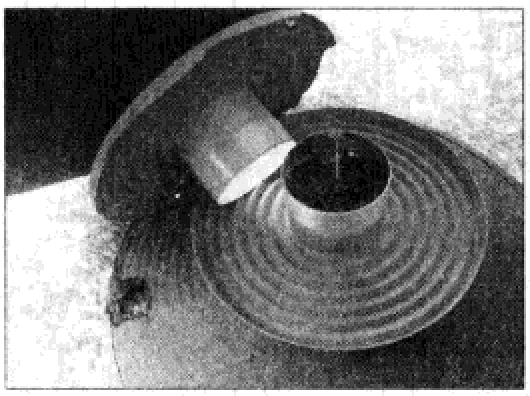


04 两个音盆都损坏了，手上没有合适的15英寸音盆，只能量了尺寸自己手工做一对音盆，量得的尺寸为：最大外径310mm，锥部直径53mm，盆高度80mm。

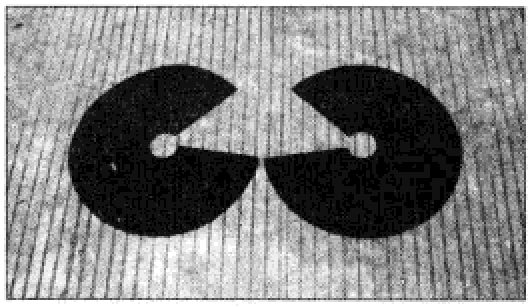




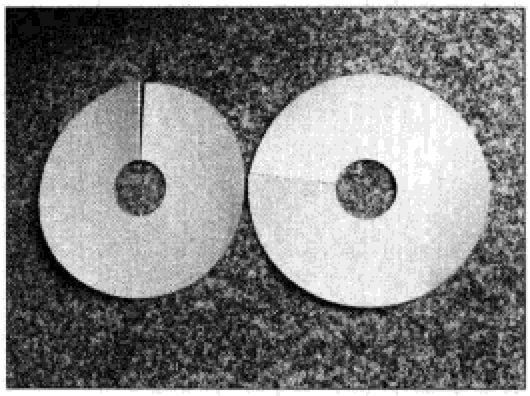
02 所幸的是这对扬声器的两个音圈还是完好的，还能被再利用。



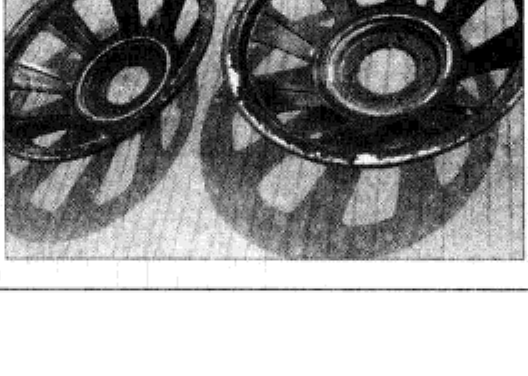
05 我使用了规格为250g的成品纸按算得的尺寸裁剪出如图形状，具体尺寸为：大圆直径360mm，小圆直径61mm，切掉的一块以圆心为点角度为54°。



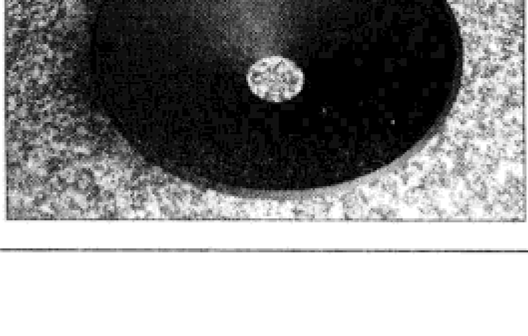
07 用柔软的，高阻尼特性的发泡海绵剪成和音盆一样尺寸的圆环。



03 拆开磁体与盆架，把盆架全部清理干净。

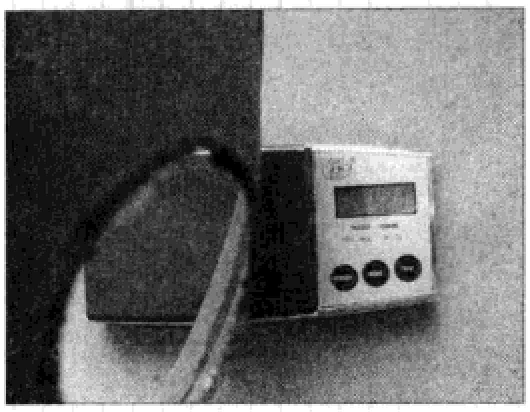


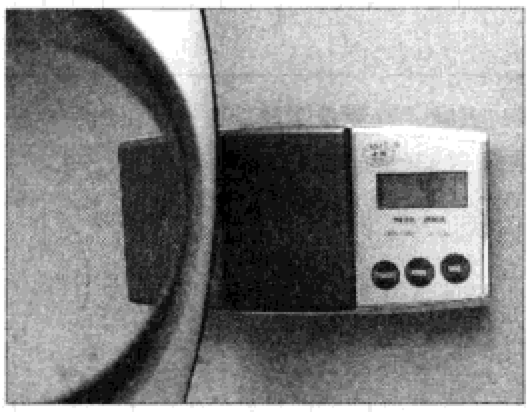
06 然后手工卷成锥盆形状，把两个被剪掉的边粘合在一起成为一个完整的锥体。



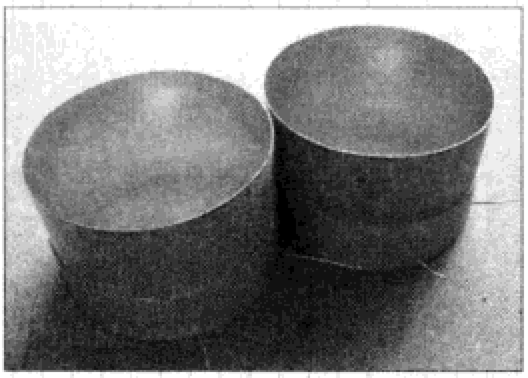
08 用胶把发泡海绵粘合在锥盆的背面，这么做可以起到两个作用：一是进一步加强锥盆的强度，二是可以增加锥盆的阻尼特性，有助于抑制不良的振动。

09 把原来的锥盆和新做的锥盆分别称了一下重量，原盆42.1g，新盆42.3g，重量非常接近。

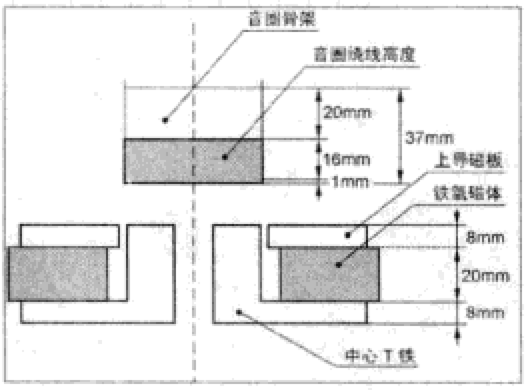




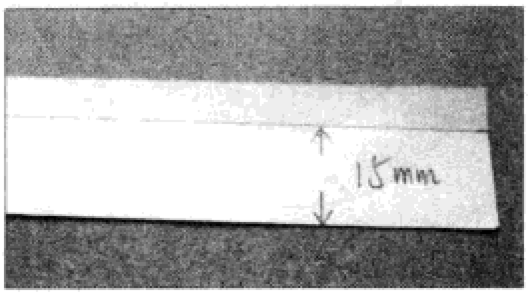
10 接下来处理音圈：把原音圈从音盆上切割下来，剥了出线头，并且把音圈铝骨架的高度修剪得一致。



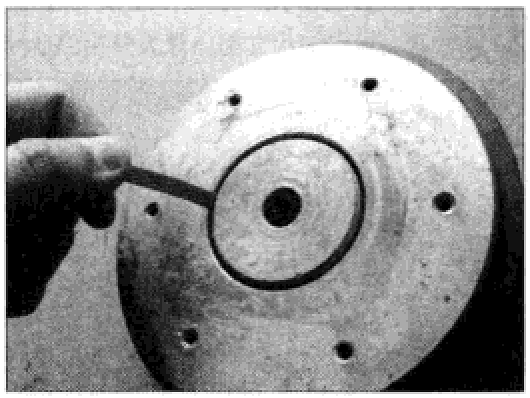
11 仔细测量一下磁路及音圈尺寸是必要的，主要是为了在业余条件下完成对音圈的准确定位。



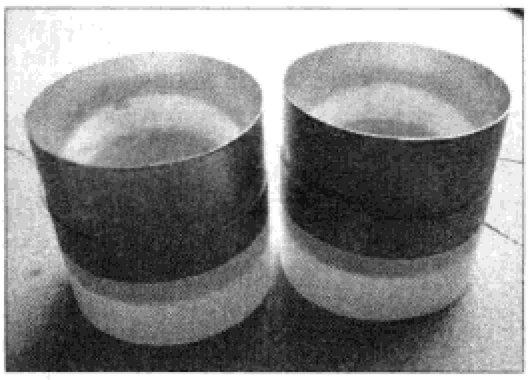
12 根据测得的磁路及音圈尺寸算得：当音圈的绕卷高度定位在上导磁板高度的正中心时，音圈离中心T铁的底部还有15mm，于是剪一条纸片，在15mm高度画一条黑线。



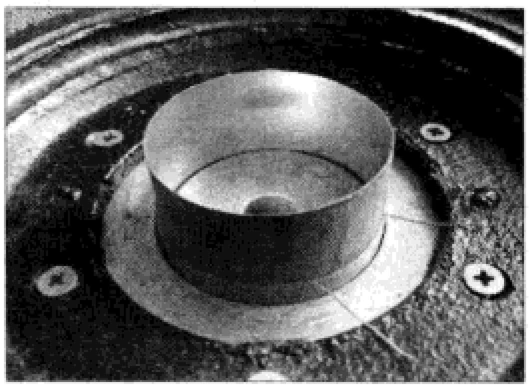
13 清理磁路：用塑料片粘上双面胶放入磁隙中，把杂物都粘出来。



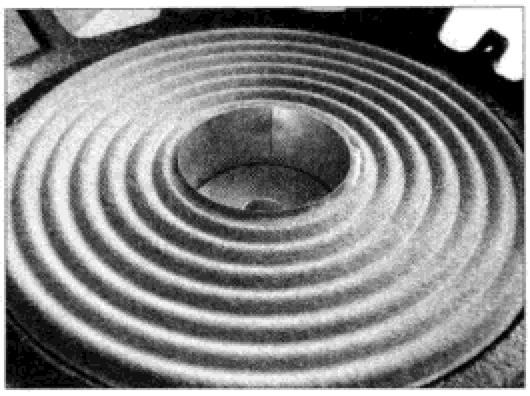
14 把刚才剪好的纸片用双面胶粘在音圈上，画的黑线对准音圈的最底部，使音圈增加15mm的高度。



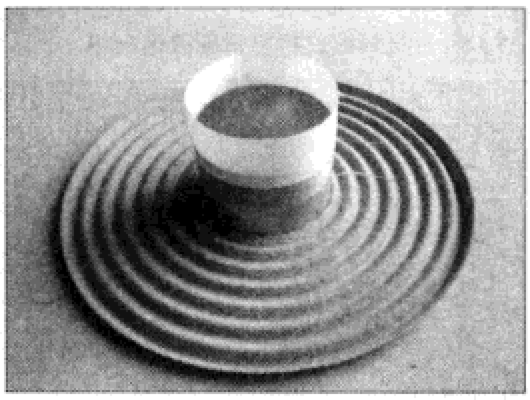
15 把粘上纸片的音圈放入到磁隙中，这时音圈的绕卷高度正好位于上导磁板的正中心。



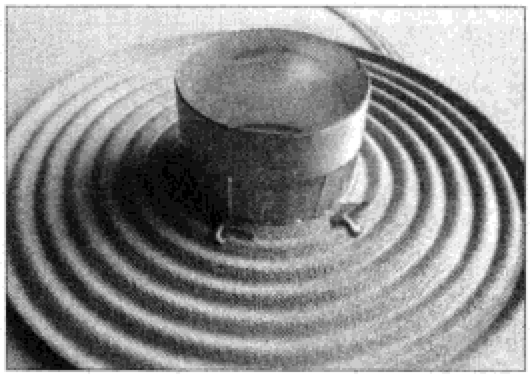
16 放入新的弹簧片，放平整，然后粘合音圈与弹簧片。



17 等胶水干透后取出音圈和弹簧片。

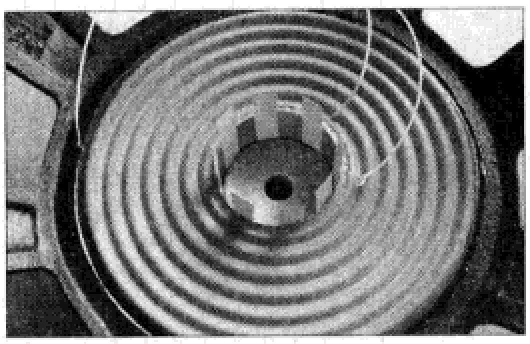


18 小心地拿掉粘在音圈上的纸片，给音圈的两个引出线焊上导线，从弹簧片穿到前面。

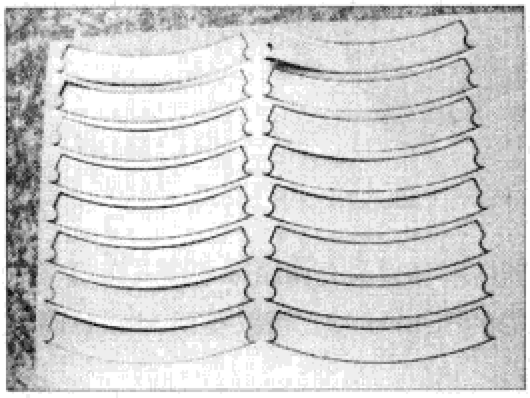


19 把厚度合适的纸片剪成条状。

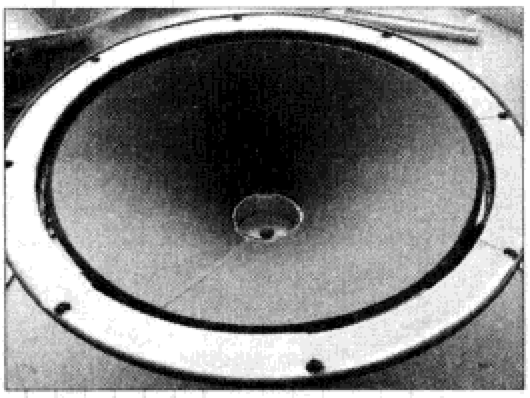
20 再一次把音圈放入到磁隙中，均匀地在磁隙中插入8片纸片，然后把弹簧片与盆架粘合在一起，这次是定位音圈在磁隙宽度中的位置。



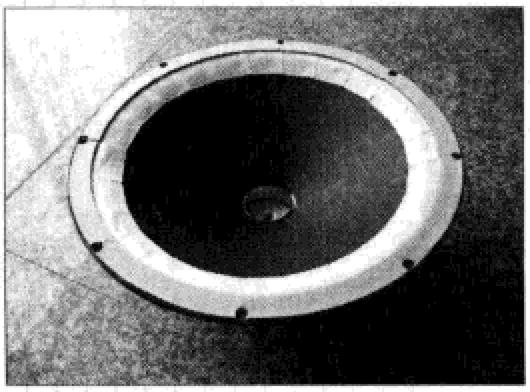
21 用发泡海绵加工了32片如图所示的形状，用来作为压边。



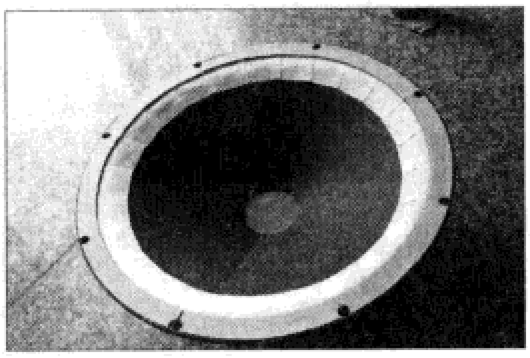
22 把压边粘合到盆架上，把音盆套入音圈用胶粘合。



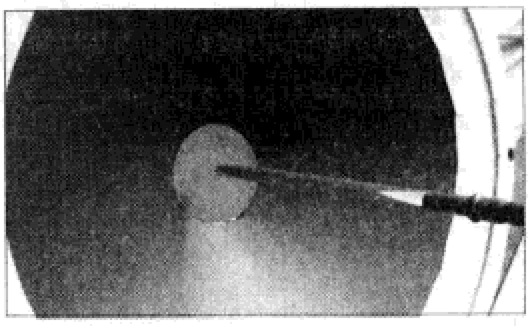
23 在音盆与压边之间装上软性不透气的折边，然后再粘上一圈压边。



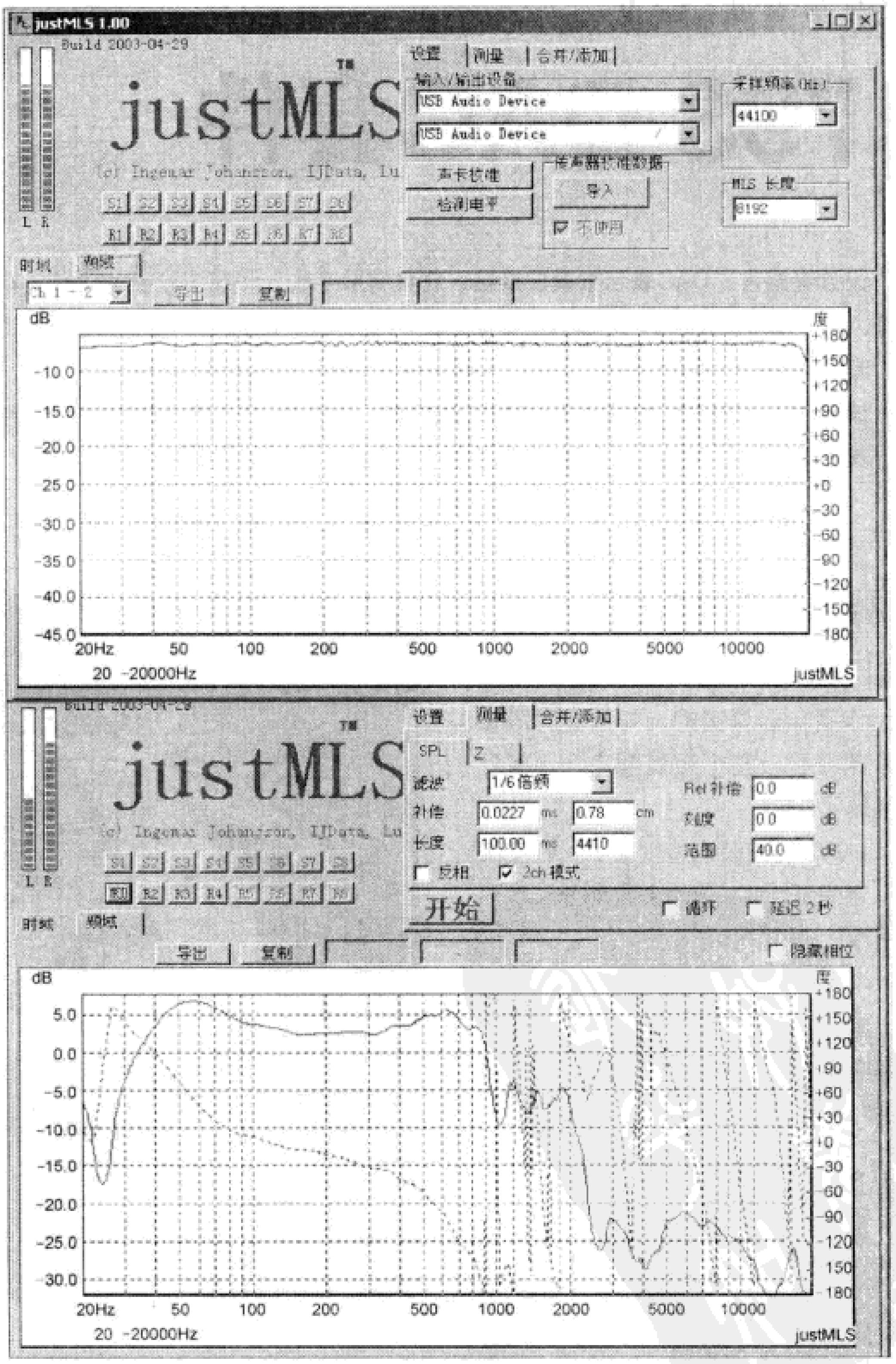
24 粘上半透气的防尘帽，一对15英寸扬声器改造完成了。

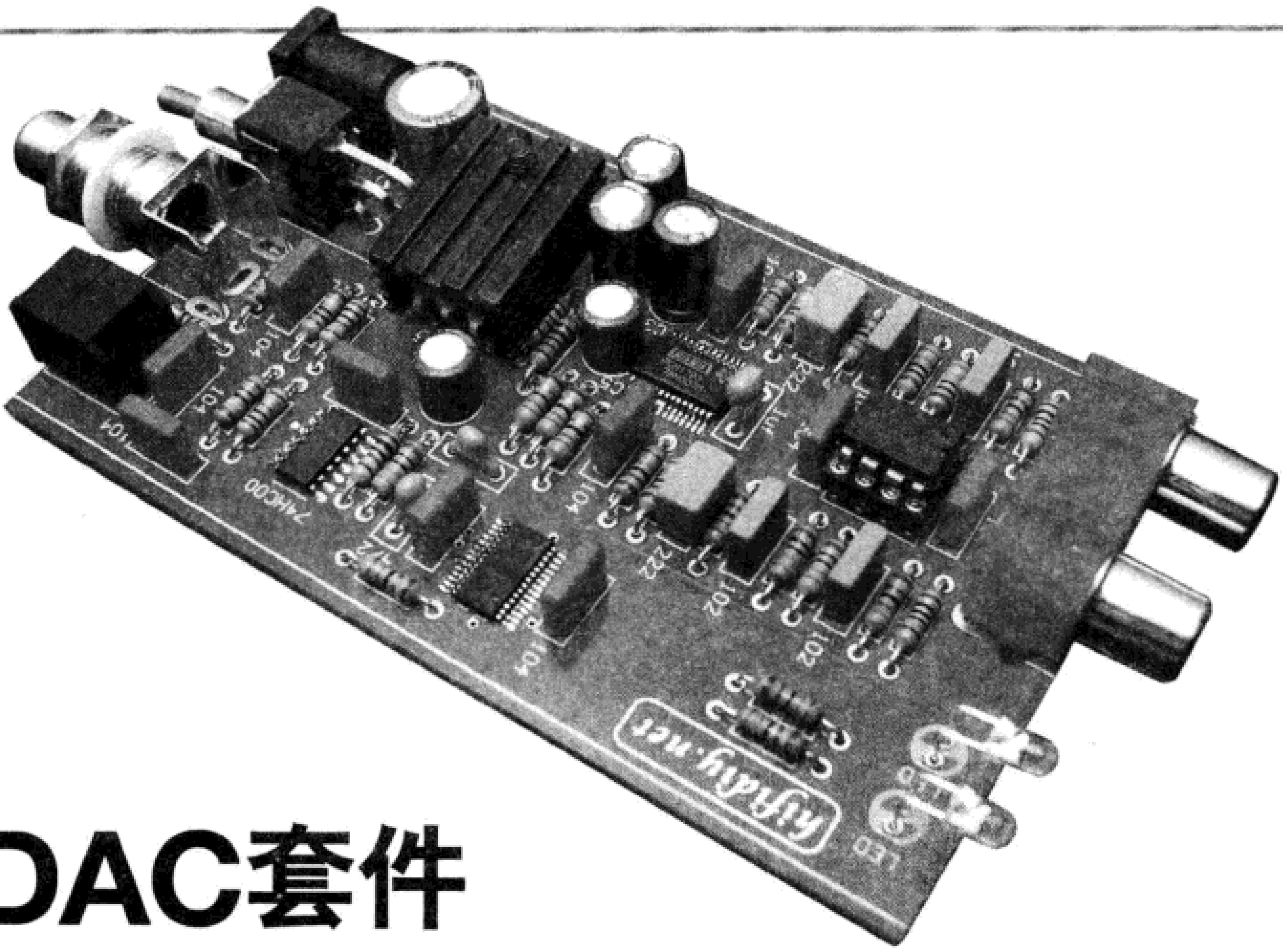


25 用justMLS软件对做好的扬声器进行了测量，使用近场测量法，测量话筒离扬声器音盆10mm左右。



26 首先对声卡进行校正，然后测得频响曲线，看起来还不错，不过在业余的测量条件下，低频的频响曲线只能作为参考。





◎aeon

MINI 1793 DAC套件

设计者感言：DAC表示数模转换器，它具有数字输入和模拟输出的功能。本文介绍的DAC套件具有两路数字输入接口（光纤输入、同轴输入）和一路模拟立体声RCA输出。套件使用的核心D/A芯片是TI公司出品的PCM1793，可以实现24bit解码功能。套件采用小体积极限设计，所以这款套件名为MINI1793DAC套件。

该套件的电路框架为：DIR9001+PCM1793+OPA2134，在比较小的体积内，采用单转双电源电路，数字部分采用二级稳压，具体电路如附图所示。本DAC套件的声音中性，分析力强，属于Hi-Fi类型。

元器件焊接及安装

本套件在焊接中有几个贴片是需要制作者自己焊接的，如果您有焊接贴片的经验，整个组装就完全没有什么问题了。

LM1875安装也特别重要，在安装时一定保证LM1875的金属部分和散热器绝缘。

其他元器件的焊接和安装的难度不太大，要按照元器件的体积从小到大的顺序来安装，整个焊接和安装过程要仔细和小心。

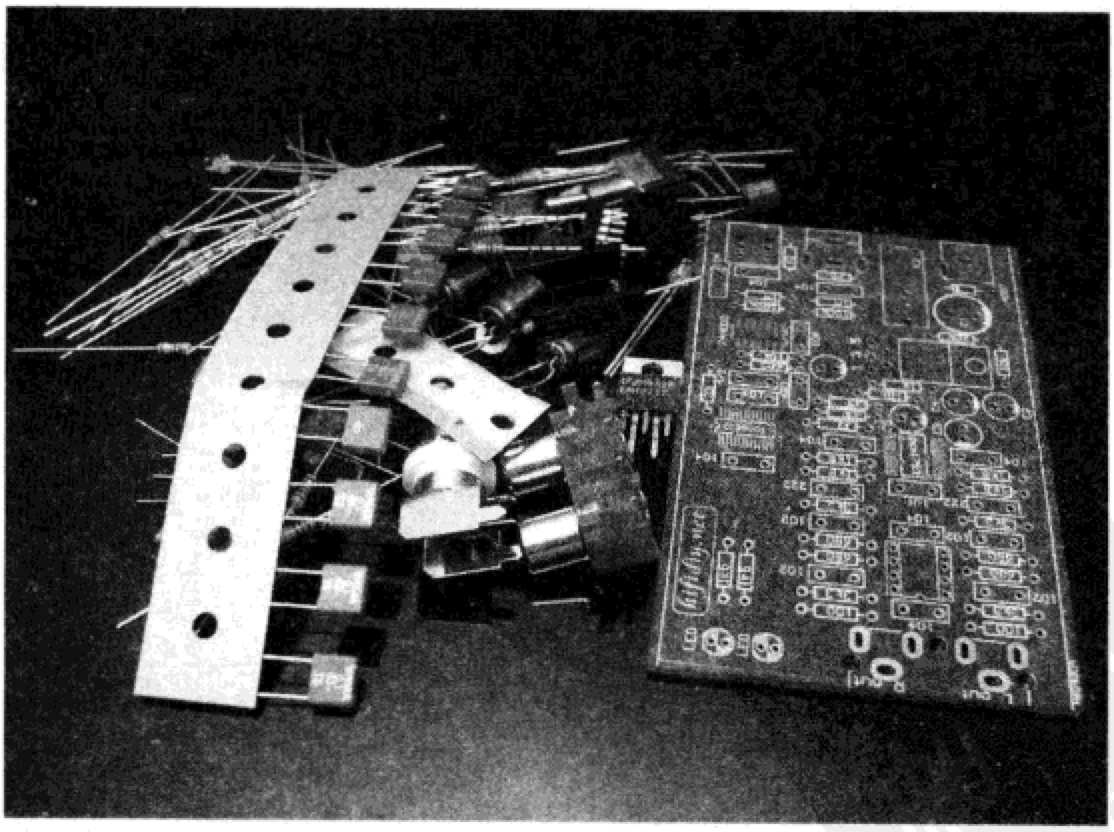
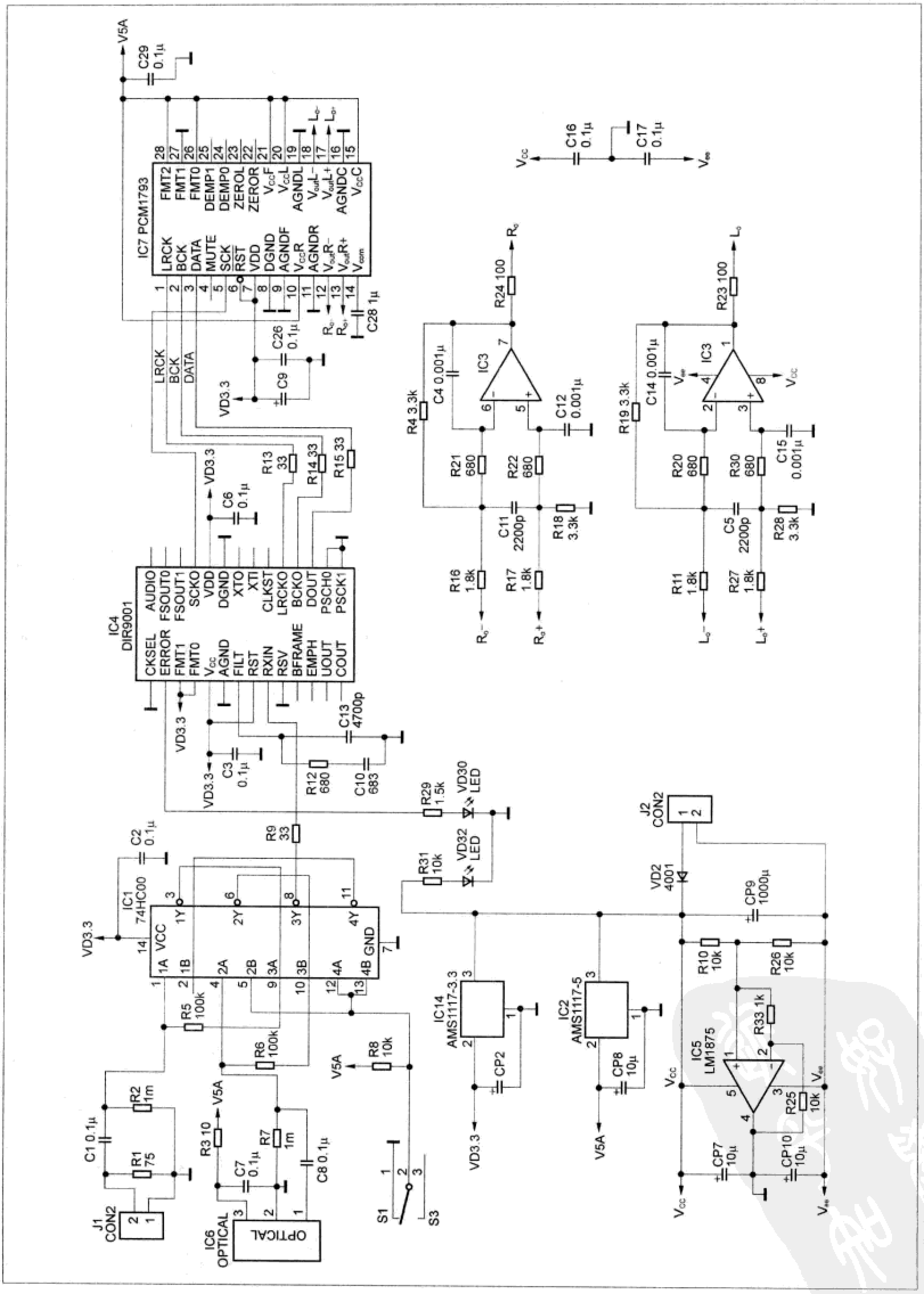


图1 套件全家福

通电测试

按照电路原理图，主要测试稳压芯片AMS1117-3.3和AMS1117-5.0的电压，正常时应该为3.3V和5.0V。测试前


IC7 PCM1793
LRCK BCK DATA MUTE SCK RST VDD DGND AGNDF VCCR AGNDR VoutR- VoutR+ Vcom
FMT2 FMT1 FMT0 DEMP1 DEMP0 ZEROL ZEROR VCCF VCCL AGNDL VoutL- VoutL+ AGNDC VCCC
V5A
C29 0.1μ
C26 0.1μ
C9
C28 1μ
VD3.3
LRCK
BCK
DATA
R13 33
R14 33
R15 33
C6 0.1μ
IC4 DIR9001
CKSEL ERROR FMT1 FMT0 VCC AGND FILT RST RXIN RSV BFRAME EMPH UOUT COUT
AUDIO FSOUT0 FSOUT1 SCKO VDD DGND XTO XTI CLKST LRCKO BCKO DOUT PSCH0 PSCK1
C13 4700p
C3 0.1μ
R12 680
C10 683
R29 1.5k
VD30 LED
R31 10k
VD32 LED
R9 33
C2 0.1μ
IC1 74HC00
VCC 1Y 2Y 3Y 4Y GND 1A 1B 2A 2B 3A 3B 4A 4B
R5 100k
R6 100k
R8 10k
R2 1m
R1 75
C1 0.1μ
J1 CON2
R3 10
R7 1m
C7 0.1μ
C8 0.1μ
IC6 OPTICAL
OPTICAL
S1
S3
IC14 AMS1117-3.3
CP2
IC2 AMS1117-5
CP8 10μ
C16 0.1μ
C17 0.1μ
R24 100
R4 3.3k
C4 0.001μ
IC3
C12 0.001μ
R21 680
R22 680
C11 2200p
R18 3.3k
R16 1.8k
R17 1.8k
R23 100
R19 3.3k
C14 0.001μ
C15 0.001μ
R20 680
R30 680
C5 2200p
R28 3.3k
R11 1.8k
R27 1.8k
J2 CON2
VD2 4001
CP9 1000μ
R10 10k
R26 10k
R33 1k
IC5 LM1875
R25 10k
CP7 10μ
CP10 10μ

DAC套件原理图

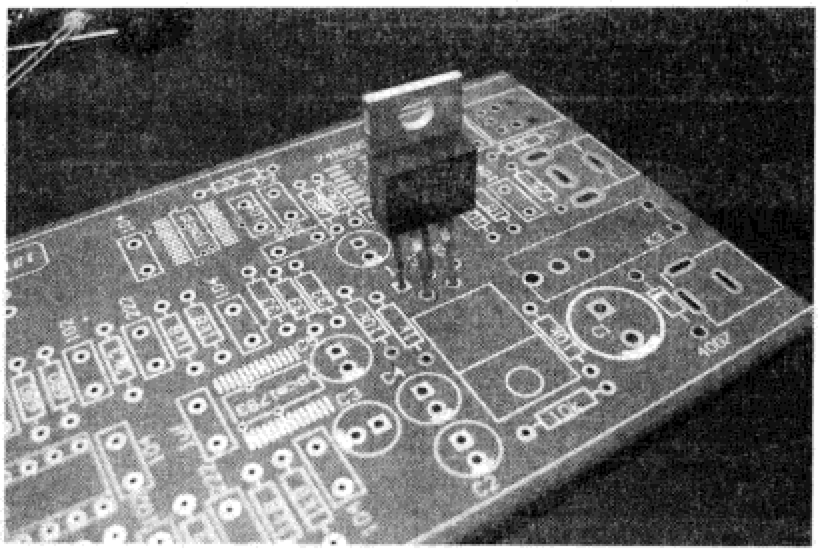


图2 LM1875的安装位置

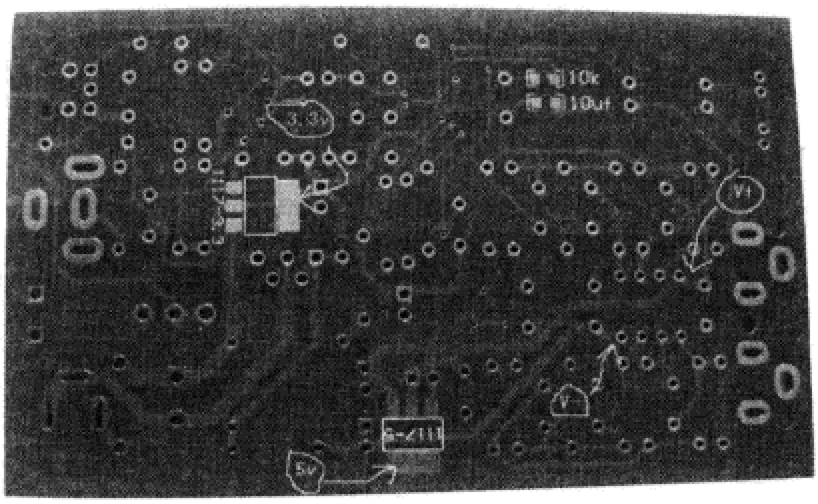


图5 关键测试点

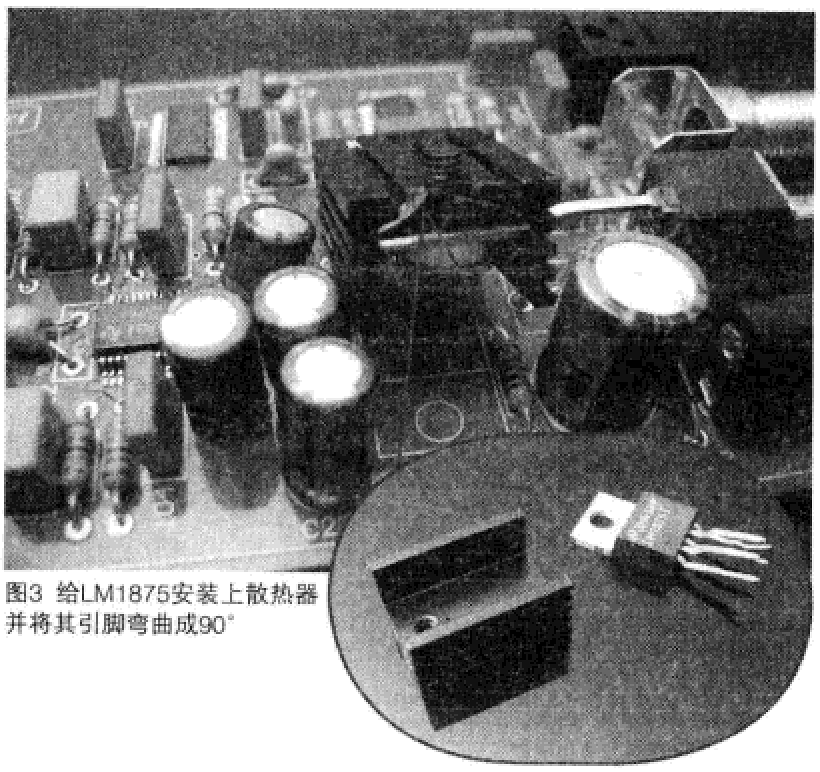


图3 给LM1875安装上散热器并将其引脚弯曲成90°

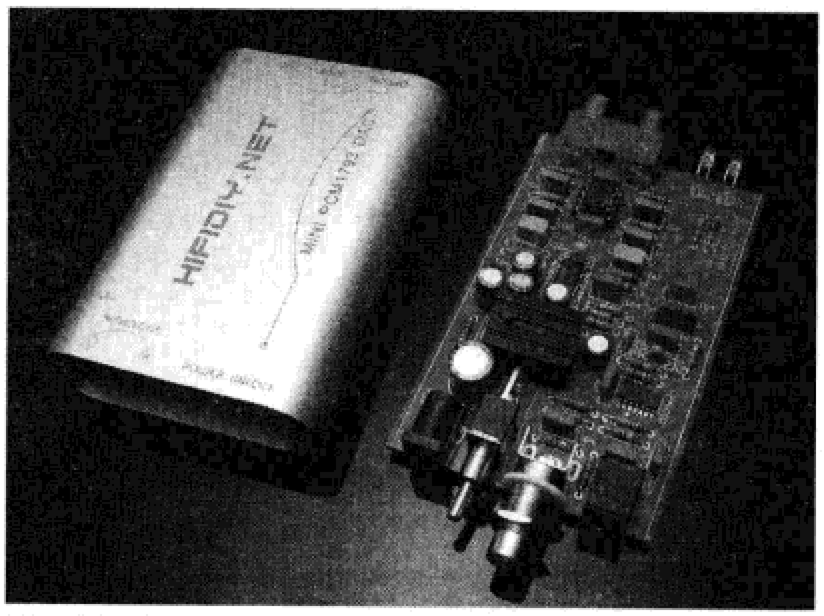


图6 制作好的电路板与机壳

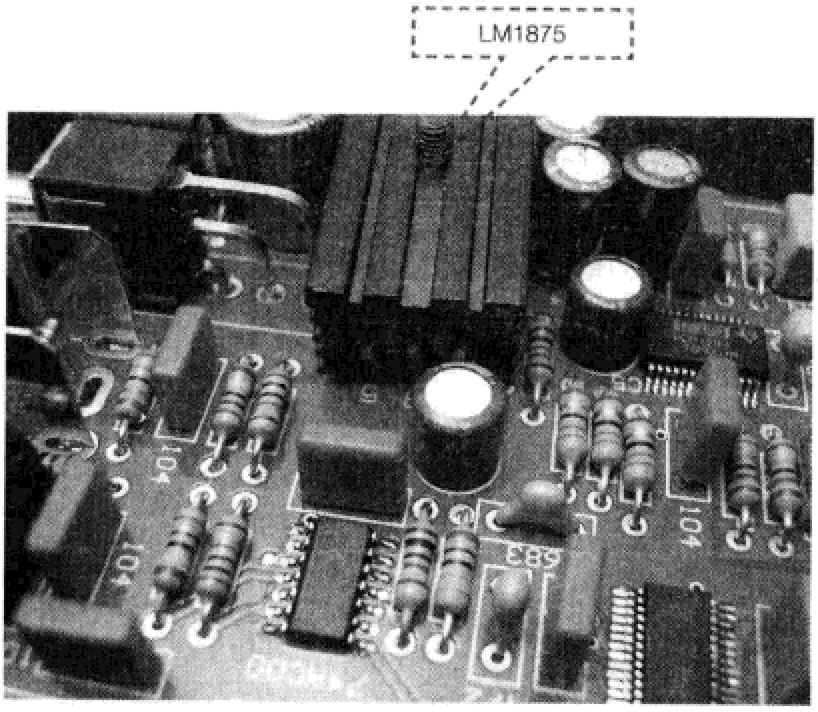


图4 LM1875安装好的示意图

请测量一下稳压芯片AMS1117的输出是否短路，若没有短路，再通电测试。测试完稳压芯片AMS1117电压后，再次测试OPA2134运放的供电是否正常。

如果以上电压正常，就可以安装机壳了。

整个焊接和安装过程不太复杂，一台DAC就在你的手中诞生啦！这款DAC可以和本刊今年第2期介绍的用光驱制作CD转盘套件一起使用。

套件销售

套件价格：散件套件（PCB+PCB上所有元件）190元/套+15元邮费

整机套件（散件套件+变压器+机壳）260元/套+15元邮费

购买方式：

1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社收，邮编：100061，请注明MINI1793DAC套件和汇款人电话

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com/

音箱制作系列

◎林芝松

用丹麦达尼6.5英寸扬声器制作的一款书架音箱

丹麦达尼扬声器是近20年来风行市场的扬声器单元。笔者购买了一对6.5英寸丹麦达尼IKON 6扬声器和一对T&T DTS-280子弹头双振膜高音单元，打造了一款6.5英寸的书架音箱，现将制作体会介绍给大家。

扬声器单元

扬声器单元的品质优劣直接影响了音箱的音质，它是音质好坏的“内因”，而箱体和分频器等则是“外因”，它们的作用是让扬声器单元的优点得到淋漓尽致地发挥，而对单元的不足给予修饰，所以对低音和高音单元的选择是至关重要的，不可掉以轻心。

中、低音单元：IKON系列是达尼2005年推出的新产品，它的外观特点是：中心开孔的双磁钢、铸模铝合金双层盆架、长冲程设计的带散热孔的单层绕线的音圈、暗棕红色的音盆（见图1）。据资料介绍，低音单体是采用掺有类似木质纤维的纸盆振膜材质，经过达尼的数年研发，振膜质量比混合羊毛的纸盆或全纸盆单体都要轻，反应速度快，动态与细节的表现超过传统的纸盆材质，在保留温暖音色和良好阻尼的同时，还能增加音盆硬度和抑制分割振动失真，中音清晰甜美，低音丰满有力。单元的标称阻抗为8Ω，平均功率为50W，峰值功率100W。

高音单元：笔者在网上浏览时发现了一款T&T DTS-280高音单元，它的子弹头双振膜结构引起了笔者的兴趣，很想试试它的效果。单元的标称阻抗为8Ω，峰值功率为80W，频率范围为1.2～40kHz，灵敏度为89dB。据介绍它的频响宽，声音细腻，音质出色。

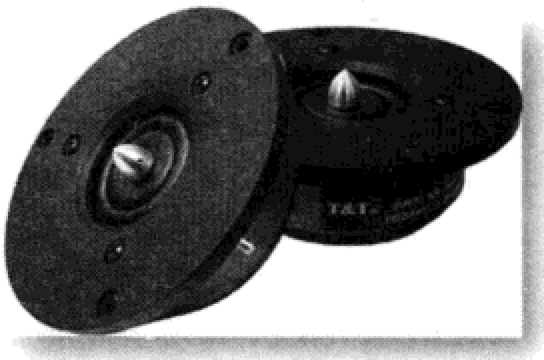


图1 扬声器单元

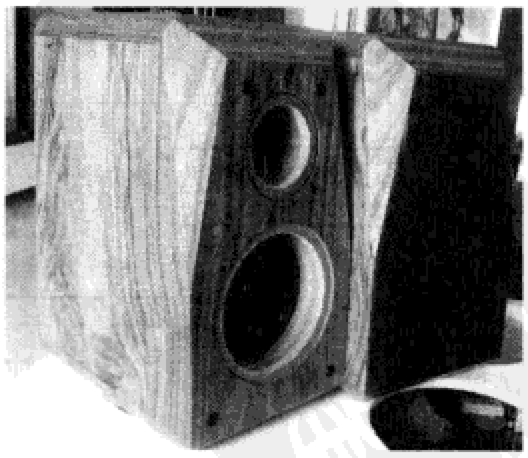


图2 空音箱

音箱箱体

箱体是邮购的，其尺寸为：420mm（高）×220mm（宽）×300mm（深），外贴黑桃木皮，前障板厚36mm，其余厚18mm，并且是倒角斜面结构的倒相式箱体，后背倒相孔直径为60mm，箱体牢固结实，外观靓丽，物有所值（见图2）。

安装孔的改造：空音箱安装高、低音扬声器的沉孔直径都偏小了些，高音沉孔的直径为103mm，而高音单元的外径为104mm；低音沉孔的直径为168mm，而中、低音单元的外径为172mm，需经加工后才能安装。在空音箱面板上先画好圆圈线，然后用角磨机细心磨去多余部分，加工时要特别认真，因是面板，关系到美观，如图3所示。高音单元的引线槽先用手电钻钻孔，然后用锯或木锉来加工。再用手电钻钻出直径为3mm的中、低音单元和高音单元的螺钉安装孔，随箱所配的接线柱也换上了纯铜的。

扬声器单元的测试

因查不到所购买的高、中、低音扬声器单元的更详细资料，比如频响曲线、阻抗曲线、谐振频率等，笔者只能应用手头现有的常用仪器进行测试，为设计制作分频器和音箱的调试提供必要的数据。扬声器单元的测试、分频器的设计、音箱的设计与调试本可以借助于计算机利用有关仿真软件来完成的，而本文介绍的内容则是利用通常的一些仪器来完成自制音箱的有关测量、设计和调试。测试用的仪器有双踪示波器、自制的函数信号发生器（本刊2009年第9、10、11期上介绍的）、双针毫伏表、电感电容测量仪和数字万用表等。

扬声器单元的音圈的直流电阻和电感量：丹麦达尼6.5英寸中低音单元音圈的直流电阻Rl=5.8Ω，电感Ll=0.295mH；DTS-280高音单元音圈的直流电阻Rh=4.9Ω，电感Lh=0.024mH。由高音单元音圈的直流电阻Rh=4.9Ω来推测阻抗应是6Ω，而不是网上资料所介绍的8Ω。

图3 空音箱沉孔的扩大

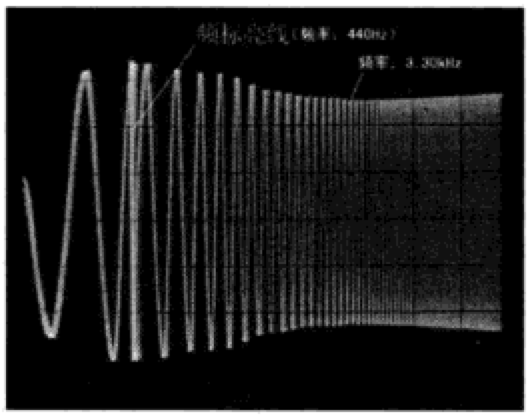


图5 高音单元的谐振频率和阻抗特性

扬声器单元的谐振频率：高音单元的测量接线图如图4所示，函数信号发生器的频率范围置4挡（22Hz～7kHz），线性扫频功率信号输出，调节信号发生器和示波器的有关旋钮，显示如图5所示的波形，用频标亮线测出谐振频率为440Hz，波形上部的包络线即是高音单元的阻抗特性曲线。由曲线可看出阻抗值最低处的频率约为3.3kHz，高频段阻抗值随频率增大逐渐上升。中、低音单元的谐振频率较低，用扫频信号测试需用长余辉慢扫描示波器配合使用，扫频仪要用较慢扫速，否则波形不易稳定显示，而且容易引起测量误差与失真。笔者用函数信号发生器输出的点频功率信号配合双针毫伏表测试，图6所示的是测量连接图。信号发生器输出的点频功率信号$V1$保持一个恒定值，比如5000mV，用双针毫伏表左（L）通道显示，输出的信号频率在低频段来回调节，毫伏表右（R）通道指示的电压$V2$最大时的点频率即是中低音单元——达尼6.5英寸扬声器的谐振频率，约为50Hz。测量时中、低音单元最好用线吊挂为悬空状态。

中、低音单元的阻抗特性曲线：测试时中、低音单元和高音单元都要按要求安装在音箱上，扬声器单元和接线盒要垫上垫圈，音箱内填充一定量（约为音箱容积的1/4）的吸音材料，如专用波浪形海绵或太空棉等，用音箱线焊接扬声器单元并做好高、

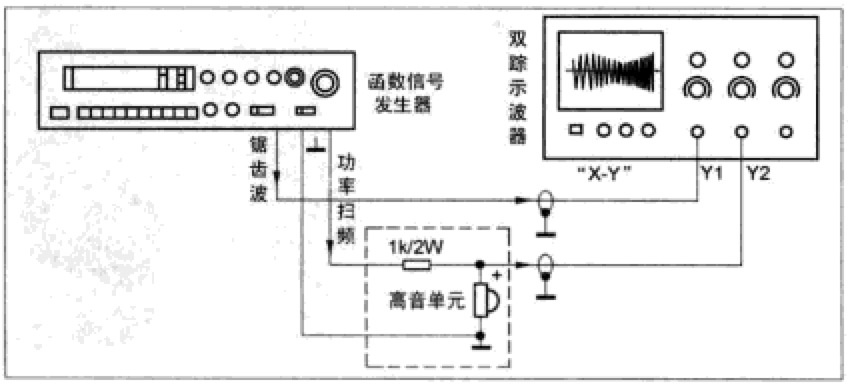


图4 高音单元谐振频率、阻抗特性的测试连接图

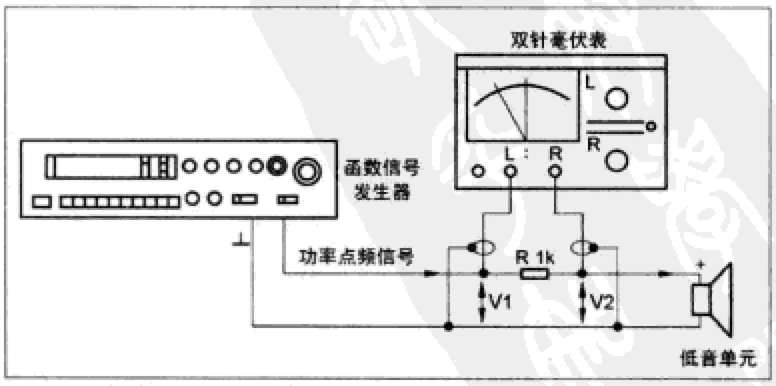


图6 中低音单元谐振频率的测试连接图

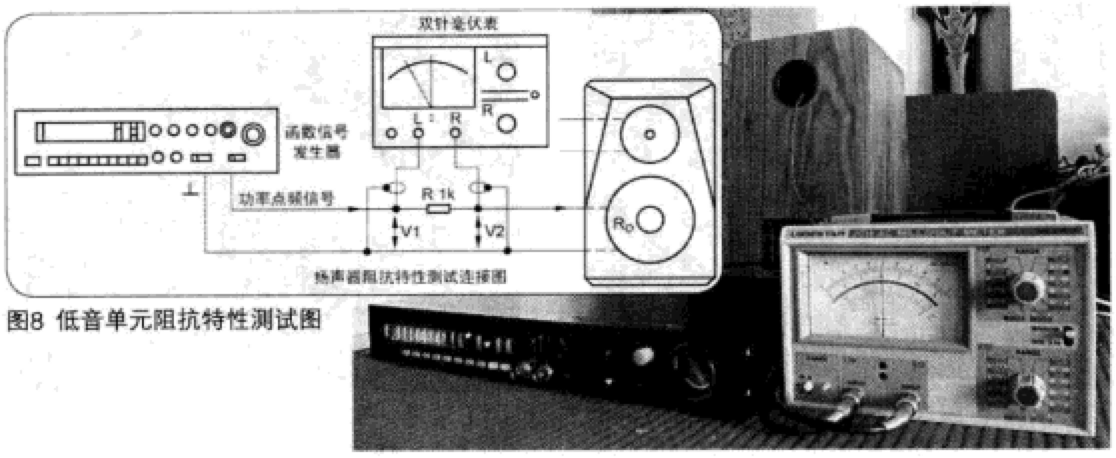


图8 低音单元阻抗特性测试图

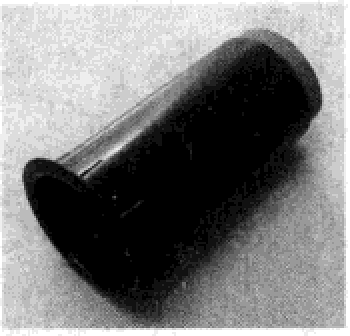
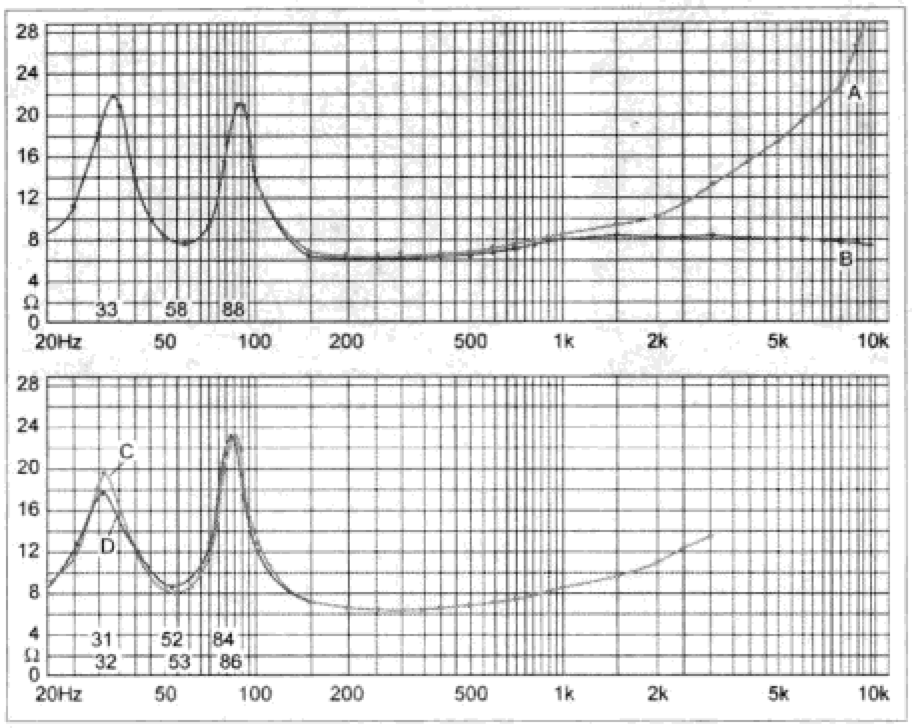


图7 倒相管的加长

低音标志，接线由倒相管孔引出。

如图7所示用卡片纸或薄纸板制备一个用于调节倒相管长度的圆筒，套入倒相管内，若嫌太松可在圆筒外缠绕薄纸。垫圈可用1～2mm厚的橡胶薄板剪制，也可用小学生制作手工用的海绵纸（厚约1.3mm）或用鼠标垫加工（选择厚度为2mm左右）。安装扬声器单元的螺钉先选用短些的，待全部调试完毕后再换上长螺钉。



曲线A——中、低音单元的阻抗特性曲线（倒相管得到正确调谐）；
曲线B——中、低音单元加接RC补偿网络后的阻抗特性；
曲线C——倒相管长度为150mm时的曲线；
曲线D——倒相管长度为190mm时的曲线。

图9 中、低音单元阻抗特性和倒相管的调谐情况

如图8所示连接测试仪器，函数信号发生器输出一系列点频功率信号，同时保持$V1$为一个恒定值，如5000mV，记录$V2$的一系列对应的电压值，根据公式：$R0=V2\times R/(V1-V2)$计算出各频点的R0值，然后用描点法绘出阻抗特性曲线图。随空音箱配备的倒相管长度为110mm，笔者用描点法绘制的曲线如图9中的曲线A所示，接着把倒相管加长为150mm和190mm，测试绘制的曲线分别如图9中的曲线C和曲线D所示。从图9中的曲线可看出下面两点：一是曲线A、C和D在低频段都有两个峰，俗称双驼峰，曲线A的这两个峰的峰值最接近与对称的，彼此被一个最低值所分开，最低值所对应的频率为58Hz，此频率与中、低音扬声器的谐振频率（50Hz）相接近，此频率与箱子的固有频率也大致相同。左峰是由倒相管调谐（频率为33Hz）引起的，右峰（频率为88Hz）由扬声器单元自身特性决定的，说明所购空音箱配合丹麦达尼6.5英寸扬声器是合适的，倒相管的口径（直径为60mm）和长度也是较合理的（理想状态应为120mm）。二是曲线C、D的双驼峰不对称，曲线D比C

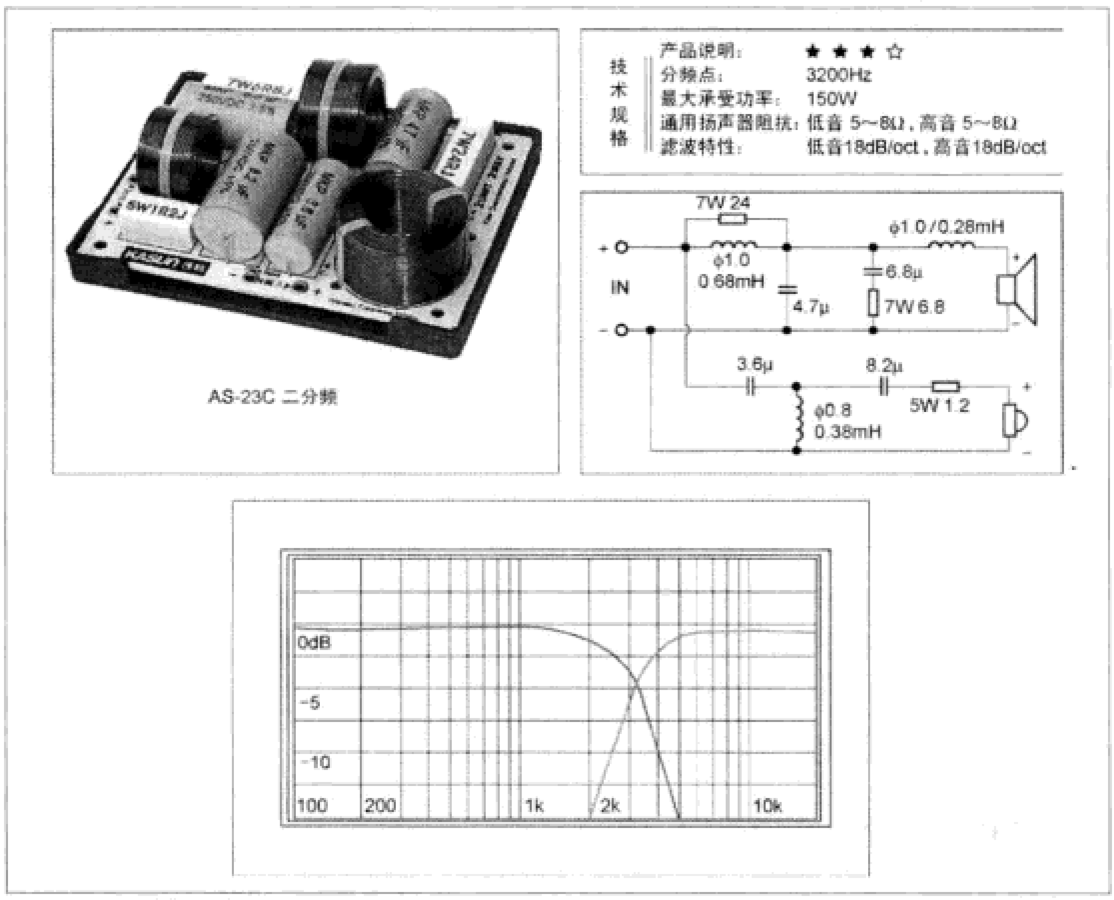


图10 购买的分频器及有关资料

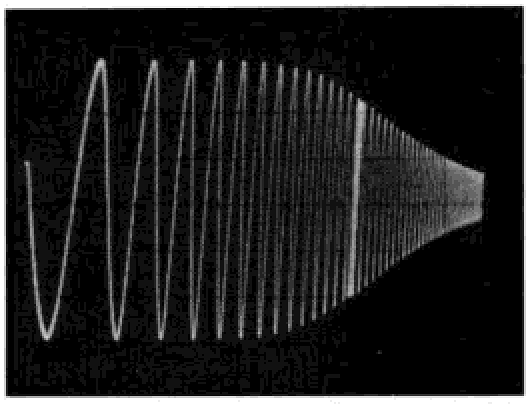


图11（a）分频器低音输出端接8Ω/10W电阻负载时的滤波特性（对数扫频）

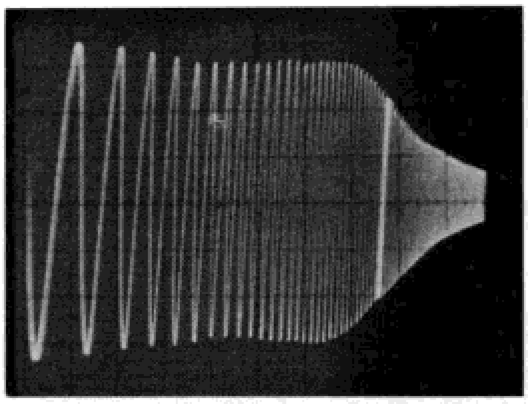


图12（a）分频器低音输出端接中、低音单元时的滤波特性（对数扫频）

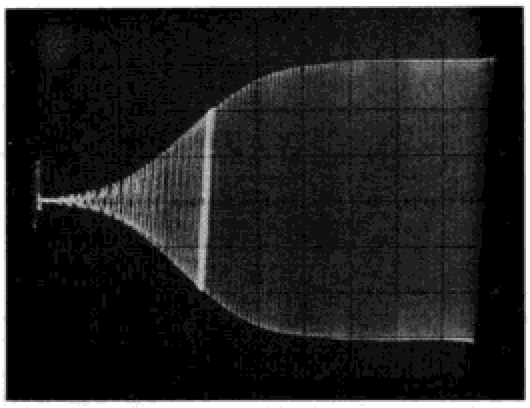


图14 调整分频器后高音网络的滤波特性（已接高音单元、线性扫频）

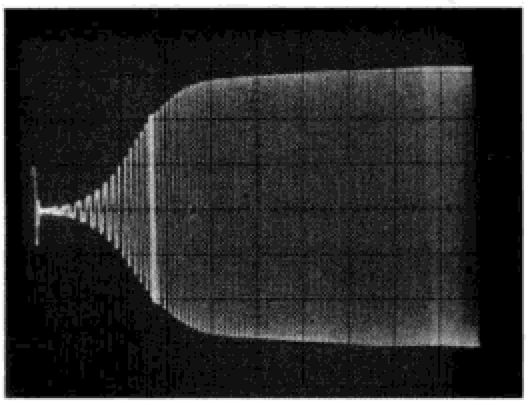


图11（b）分频器高音输出端接6Ω/5W电阻负载时的滤波特性（线性扫频）

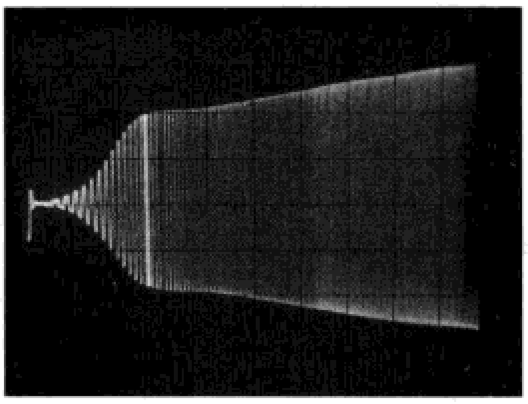


图12（b）分频器高音输出端接高音单元时的滤波特性（线性扫频）

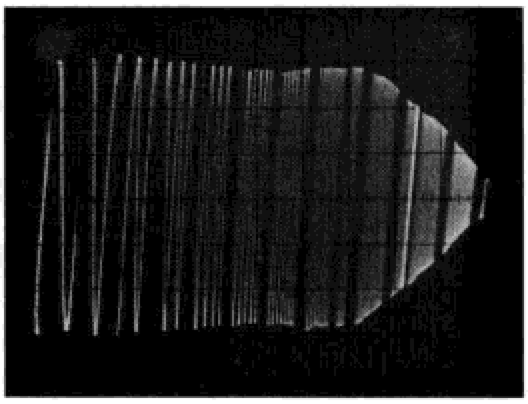


图15 调整分频器后低音网络的滤波特性（已接中、低音单元、对数扫频）

更甚，说明曲线C和D对应的倒相管调谐不正确（长度偏长了），双峰和最低值点所对应的频率也稍向低频端偏移。笔者手头没有比110mm更短的倒相管，但也试着不插入倒相管测了几个数据，可想而知，此时的双驼峰应是左峰高出右峰许多了。

爱好者在调试倒相管时，多数是由听感来决定的，其实也可以通过上述的简单测试，使倒相管的调试更为准确合理，那么低频下潜得将会更深些。

阻抗补偿网络

扬声器单元经上述的简单测试，知道了高、低音单元音圈的直流电阻、电感、以及它们的谐振频率和阻抗特性，接下来就为它们进行阻抗补偿，为下一步的分频网络设计做好准备。根据式子：*Req*=*R*，*Ceq*=*L*/*R*²计算出RC补偿网络的近似值。

式中：*R*——扬声器单元音圈的直流电阻（Ω），*L*——音圈的电感（H），*Req*——补偿RC网络的电阻（Ω），*Ceq*——补偿RC网络的电

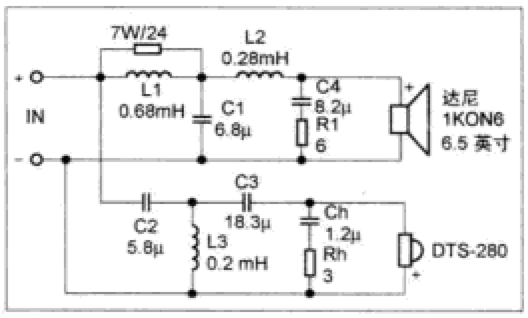


图13 调整后的分频器电路图

容（F）。经计算得出：F高音单元*Req*=4.9Ω（取5Ω），*Ceq*=1.7μF（取1.5μF），中低音单元：*Req*=5.8Ω（取6Ω），*Ceq*=8.7μF（取8.2μF）。高音单元的RC补偿网络的调试放到与分频网络一起测试与调整。现就中、低音单元的阻抗补偿进行测试：测试仪器的连接同上述测试阻抗曲线，RC网络并接在引出线的两端，补偿后的阻抗特性见图9中的曲线B，由曲线B可看出，经补偿后中低音单元的中高频段的阻抗曲线平坦了，这有利于分频点的稳定和频响特性曲线的平直。

分频器的调试

笔者购得一款18dB/oct三阶二分频器，分频点频率为3200Hz，适用扬声器阻抗为5～8Ω，如图10所示。丹麦达尼IKON6（标致）音箱，其中一只单元的分频点频率即是3200Hz。笔者对分频器进行如下的检测与调试：1.在网络的低音输出端接8Ω/10W的电阻，在高音端接6Ω/5W的电阻进行测试，滤波曲线如图11（a）、图11（b）所示，基本与分频器所附的曲线图相似。2.高、中低音扬声器单元分别焊上音箱线，如同测试阻抗曲线一样安装到音箱上，接线由倒相管引出，分别焊接到分频网络的各自端口上，然后进行测试，滤波曲线如图12（a）、图12（b）所示。由图12可看出：低音网络配合低音单元的效果还是可以的，而高音网络与高音单元的搭配就不怎么合适了，存在的问题是高音通道的低频段幅度偏小，高频段阻抗未经过补偿，幅度随频率升高而逐渐变大。

为了适应所选用的扬声器单元和箱体，笔者对所购的分频器进行了调整，经反复调试，最终的分频网络电

路如图13所示。调整的步骤如下：

1．计算参数：根据式子：$Z=〔R2+（2\pi f_c L）^2〕1/2$分别计算出高音单元Zh=4.92Ω，中、低音单元Zl=8.3Ω。

式中：R——音圈的直流电阻，L——音圈的电感，f_c——分频点频率：3200Hz。

然后再根据式子：$L1=3Zl/4\pi fc$，$L2=Z/4\pi f_c$，$C1=2/3\pi f_c Zl$，

$C2=1/3\pi f_c Zh$，$C3=1/\pi f_c Zh$，$L3=3Zh/8\pi f_c$，计算出：

$L1$=0.62mH，$L2$=0.21mH，$C1$=8μF，$C2$=6.8μF，$C3$=20μF，$L3$=0.19mH等一系列数据，作为调整分频器时参考用。

2．高音分频网络：将C2（3.6μF）换为5.8μF后，发现低频段幅度变大（与上述测试时低音端输出的幅度相当），但呈过冲状态，分频点往低频端偏移，接着用手头已有的0.20mH电感换下L3（0.38mH），此时分频点频率已约为3200Hz了，但过冲现象还存在。笔者又将C3（8.2μF）换成18.3μF（由三个电容并联），去掉1.2Ω/5W的电阻并焊接上RC补偿网络（R=5Ω，C=1.5μF），经测试，此时的曲线基本符合要求了，如图14所示。最后对RC补偿网络进行微调为R=3Ω，C=1.2μF。$L3$可将原电感（0.38mH）减少圈数至0.20mH，边减边测电感量直至符合要求，然后用热熔胶粘牢线头。

3．中、低音分频网络：因调整了高频分频网络的C2，对低频网络造成影响，分频点向高频端偏移了，这点在调整分频网络时要引起注意。在调整测试时，在低音和高音输出端都要接上相应的扬声器单元，不可使任一端悬空，因高、低音分频网络之间会互相影响的，调整了任意一个通道的元件参数都会影响到另一通道的分频效果，尤其是L1和C2。所以调整了一个通道后还要检验另一通道的曲线。笔者保持L1和L2的数值不变，把C1的容量由4.7μF调为6.8μF，同时把RC补偿网络的数值调整为$R1$=6Ω，C=8.2μF，电容C的接点也移接到中、低音单元的“+”接线端。调整后的曲线如图15所示，图16所示的是分频点频率，图17所示的是调整完工的分频器实物。

音箱的组装

音箱组装的顺序：

1. 截取一定长度的音箱线焊接在分频器的相应端口上，在剥音箱线头时，尽量不要弄断多股铜丝，拧紧上锡后再焊接，最好采用含银的焊锡丝。

2. 用3～5mm厚的海绵双面胶带把分频器粘贴在音箱内靠近接线盒处的底板，分频器边缘与后面板保持5mm左右的间隙，以免因振动可能产生杂音。

3．焊接接线盒，并用螺钉固定好，焊接时别忘了要套上垫圈。

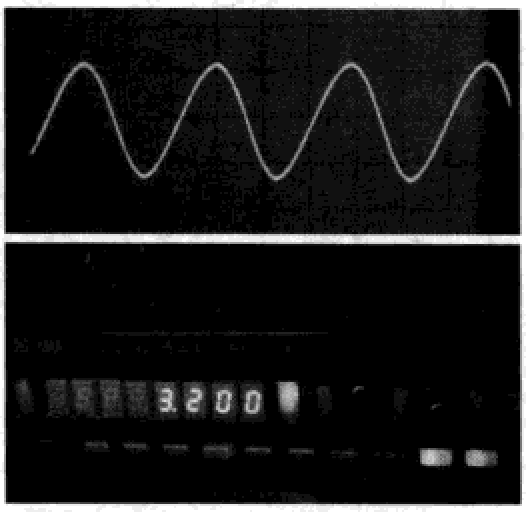


图16 图14、图15频标亮线处的频率（分频频率）——3200Hz

图17 调整完工的分频器

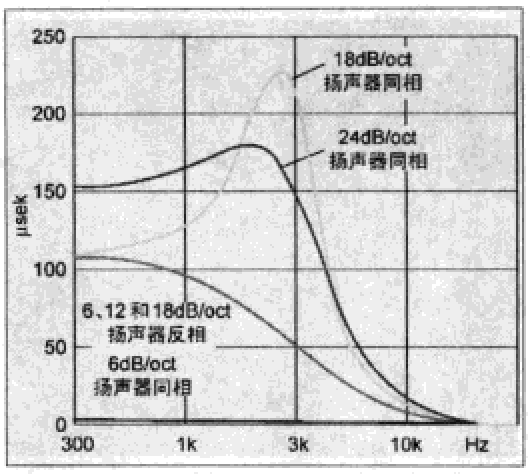


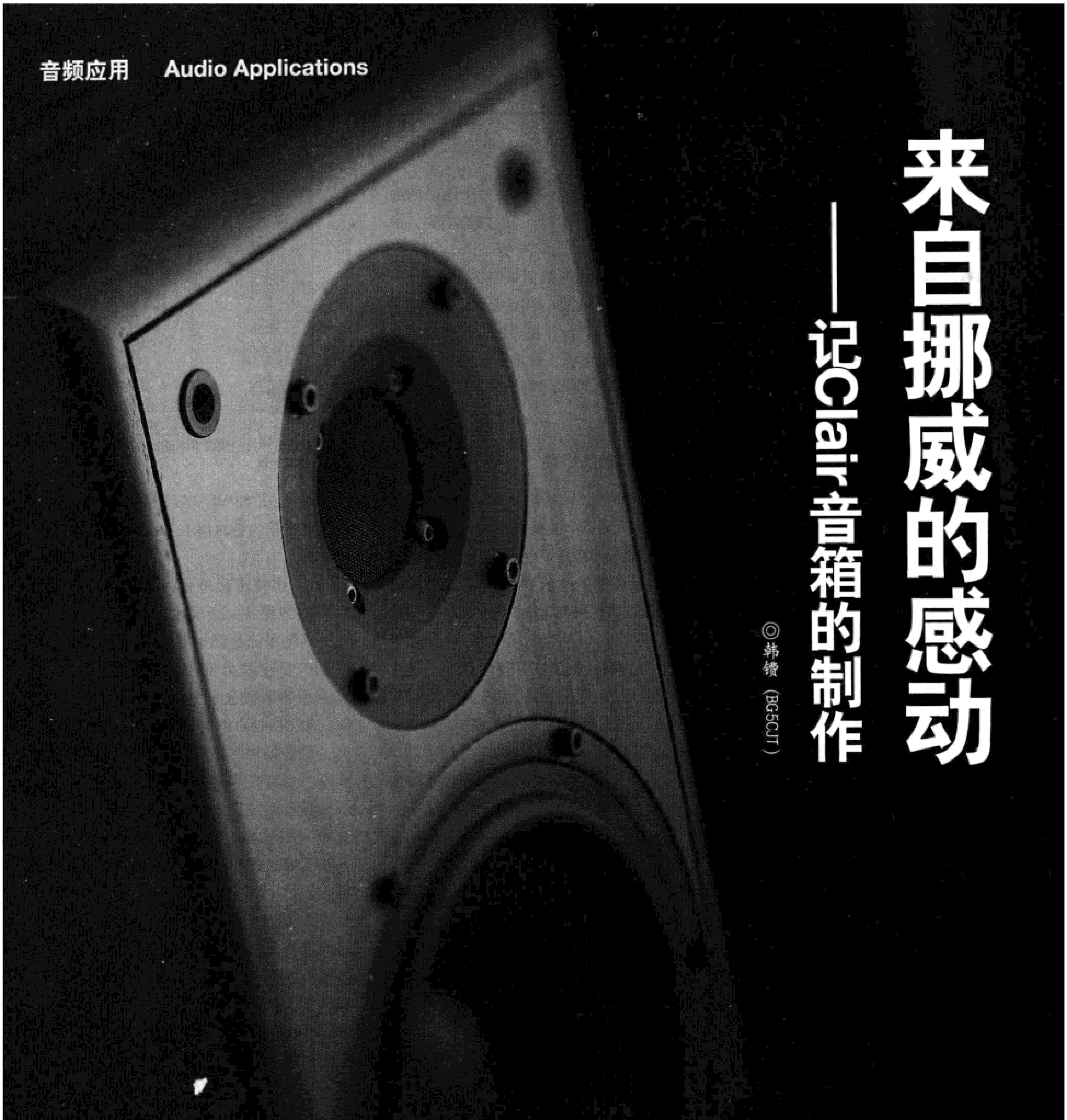
图18 使用分频器的情况下中低音和高音扬声器组合时的群迟延

4. 往箱体内填充吸音材料，除前障板外音箱内各面铺上2～4cm厚的吸音材料。

5．焊接高音单元：原分频器及附带的线路图上标示的中、低音单元与高音单元是同相安装，此时相位失真严重应改为反相接法。这点用耳朵很容易判别：输给音箱分频频率（3200Hz）的功率信号，耳朵在高、低音扬声器之间上下移动，当移至高、低音扬声器之间就听不到声音（或声音明显变小），可判别高、低音单元相位组合不对，参见图18的一阶至四阶巴特沃斯分频器的群迟延图。

6. 焊接安装中、低音单元。在焊接安装扬声器单元时要记住垫上避震垫圈，并换用长些的螺钉安装。有时可能经多次拆卸扬声器使螺钉固定孔滑牙，可换用长螺钉或在安装前往音箱前障板的螺孔内滴入几滴502瞬干胶水，待干后（过几分钟即可）再行安装，即可防止滑牙了。题图所示的是组装完工的音箱。要想让音箱出好声，还需经过一段时间的“煲箱”呢！

音箱组装完工后，经笔者试音，整体感觉还是不错的，中、低音表现出色，尤其是低音下潜到30Hz以下，声音表现松软自然，富有弹性，这应该归功于丹麦达尼扬声器单元。高音相对来说，尚欠火候，表现得不是十分出色，可能与高音单元的素质分不开。



来自挪威的感动

——记Clair音箱的制作

◎韩镄（BG5CJT）

对于大多数音乐爱好者和发烧友来说，一套能令他感动的音响系统是其一生的追求与梦想。在音响系统中，最重要、也是最关键的，非音箱莫属，而一对好的音箱动辄上万，这也是一般发烧友所为之却步的重要原因。今天，给大家介绍一款性价比极高的DIY音箱套件——Clair（克莱）书架箱套件。不为过地说，它在我所接触到2万以下的进口箱中还难有对手，而却只用了1/7的价格就有了如此享受！本文对此音箱套件的基本素质做简单介绍。

Clair的高音采用SEAS prestige系列中的新款27TBCD/GB-DXT（H1499-06），它拥有一个后腔，优化设计使其能采用较低的分频点。在振膜前方增加了一个坚固金属网保护振膜不会受损（这对有儿童的家庭至关重要，小孩经常会用手指戳破高音）。H1499高音最大的特色是它的面板，采用了DXT技术专利，可以有效改善高音的离轴响应以及指向性，便于与中音单元衔接、减少障板衍射等优势。H1499单元的外观如图1所示，其谐波失真如图2所示。

图1 H1499单元的外观

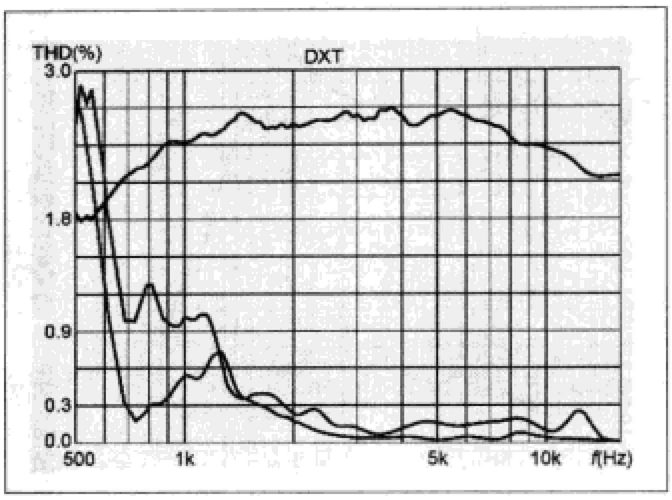


图2 H1499谐波失真测试（90dB/m）

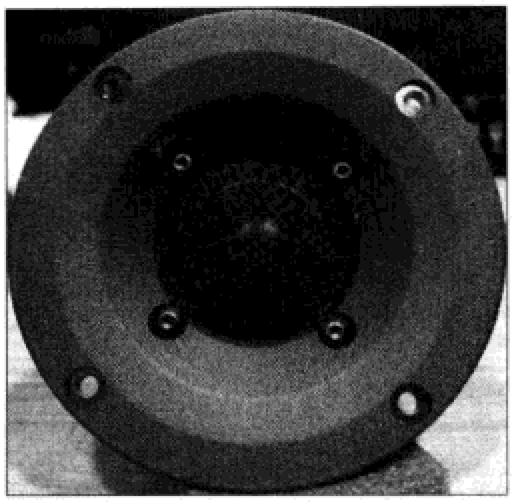
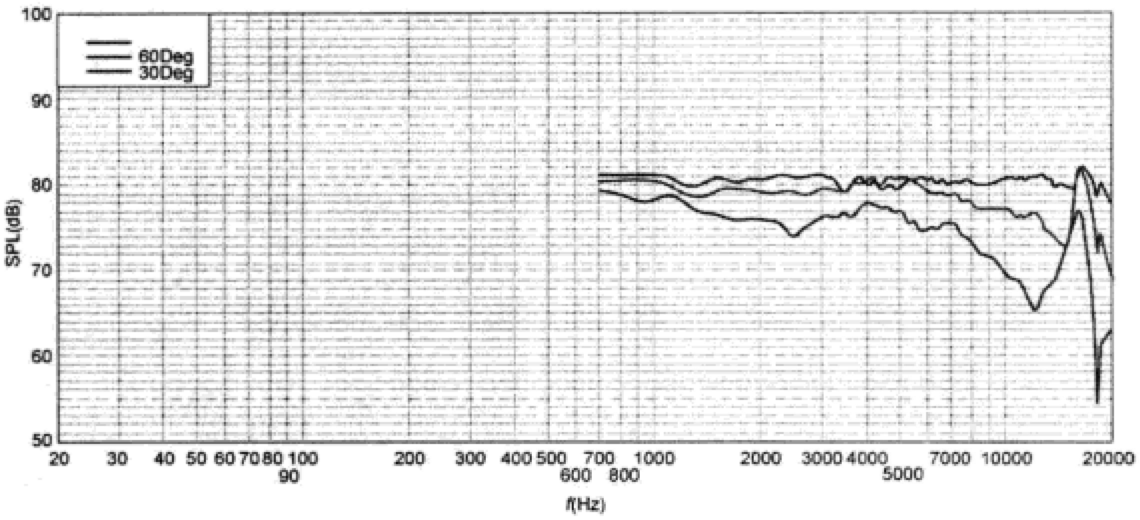
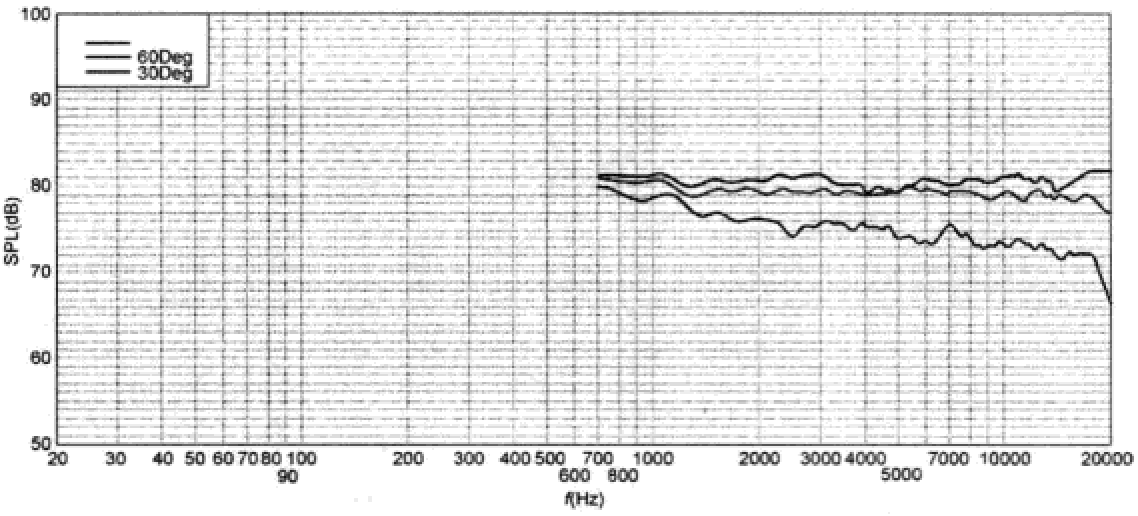


图3 H1499单元正面

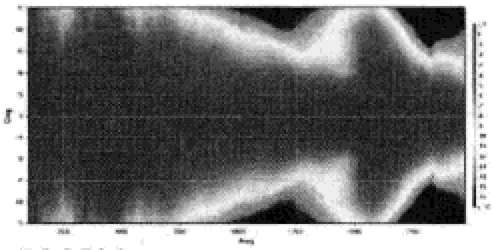


(a) 标准球顶高音

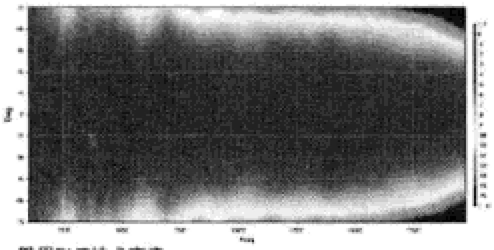


(b) DXT 技术高音

图4 标准球顶高音与采用DXT技术高音的离轴响应对比



标准球顶高音



采用DXT技术高音

图5 标准球顶高音和采用DXT技术高音的空间能量分布图对比

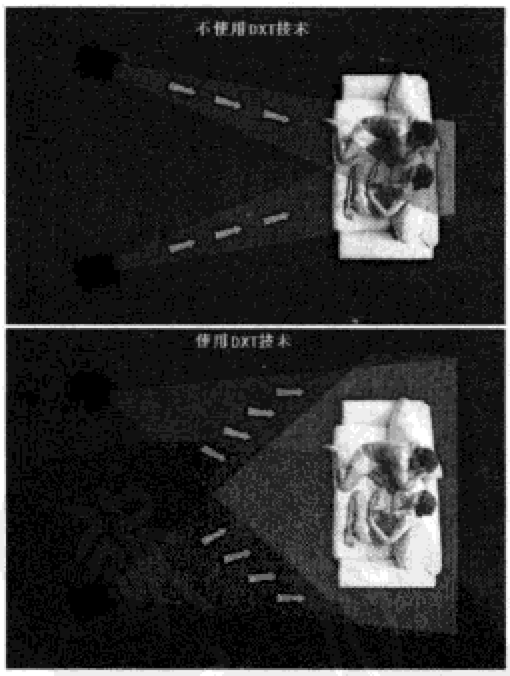


图6 标准球顶高音和采用DXT技术高音的实际聆听区域对比

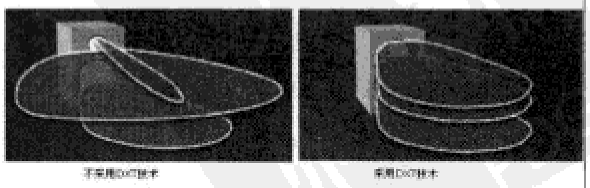


图7 采用DXT与不采用DXT的对比

在SEAS推荐的有效频段（2~20kHz）内，失真几乎低于0.3%，谐波失真虽然不能说明全部问题，但它仍是一个优秀单元必备的素质。H1499另一个不得不提的特点就是其特殊的面板，如图3所示。这和奥德菲尔著名音箱夜莺的高音非常相似，在著名监听品牌真力的音箱中也经常见到。

之前的介绍提到了不少优点，那么这些优点具体表现如何呢？图4~图7所示的是一组对比图，图4所示的是标准球顶高音和采用DXT技术高音的离轴响应对比。

图5所示的是标准球顶高音和采用DXT技术高音的空间能量分布图。

经过以上对比不难发现，改用

图8 H1456的外观

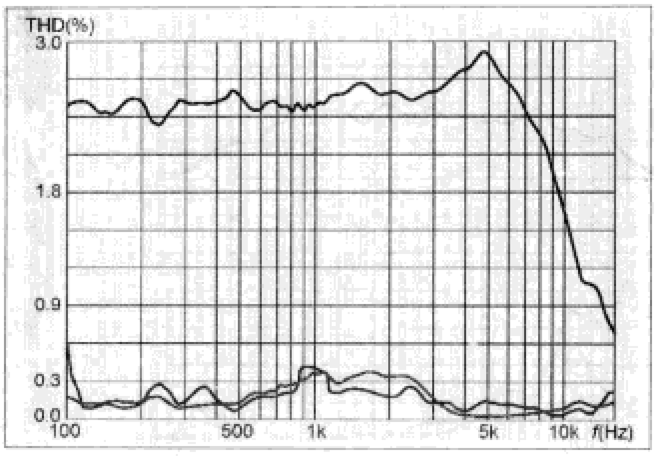


图9 H1456的谐波失真测试

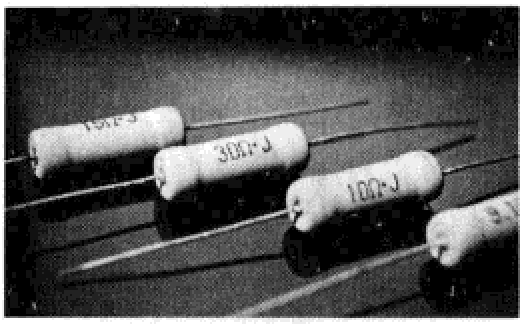


图12（a）日本金威无感电阻

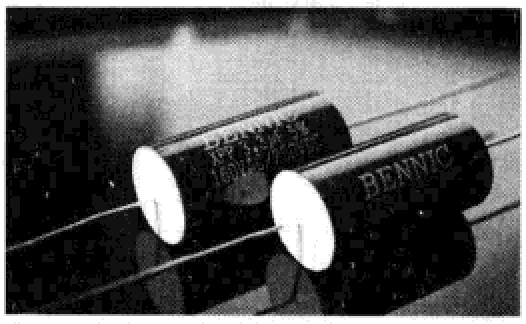


图12（b）关键电容都是聚丙烯电容

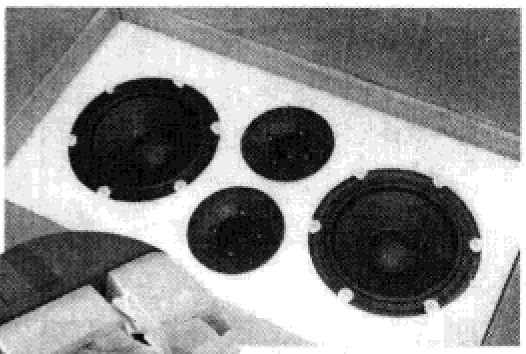


图10（a）单元与分频器包装

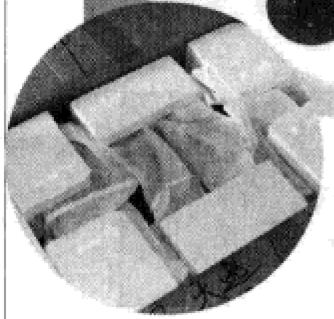


图10（b）箱体包装

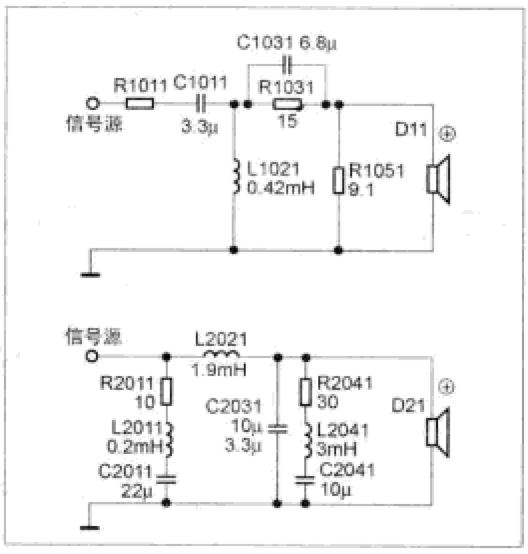


图11 分频器电路图

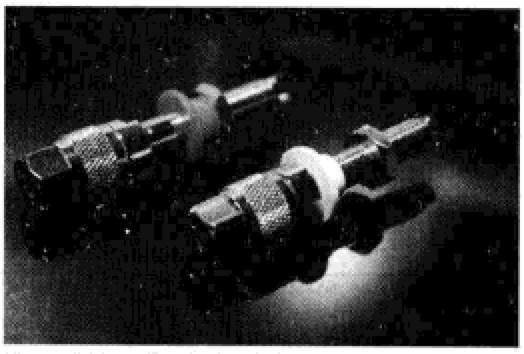


图13 卡达斯的原装接线柱

H1499后，拥有比原设计更良好的音场定位，更宽阔的聆听区域。在其他方面，H1499的瞬态特性也是极其出色的。

Clair的低音H1456沿用了SR71设计所选的ER18RNX（H1456-08）。这是一款采用苇浆混合材料音盆的低音，拥有平滑且延伸良好的频响曲线，磁路加装了铜短路环，使之拥有较低的失真。这款新单元几乎具备了所有优秀的设计要素，散热良好的音圈系统，优良的音盆、驱动和悬挂系统，对BL（x）、Le(x)和悬挂线性的测试结果几近完美。H1456的外观如图8所示，H1456采用的弹波和黄金系列E0042是相同的，图9所示的是该款低音单元的谐波失真测试图（90dB/m）。

通过以上介绍，大家对这套音箱的素质有了一些认识，那么，跟随我

图14 所需要的制作工具

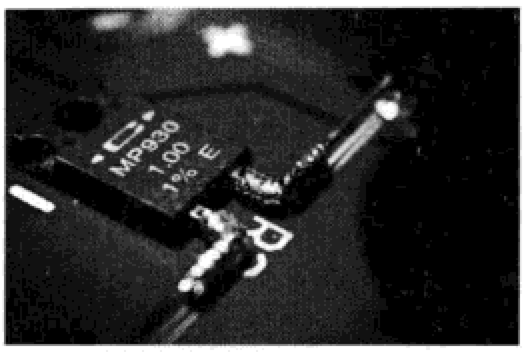


图15 引脚不够长的电阻接脚处理

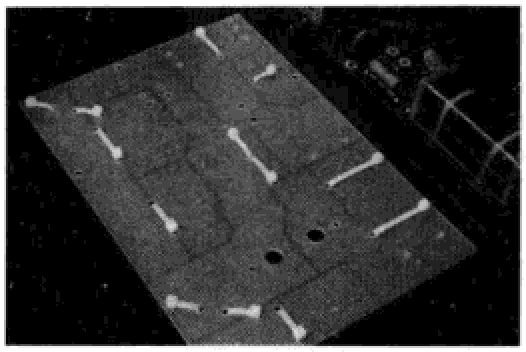


图19 所有尼龙扎带均在底部锁紧

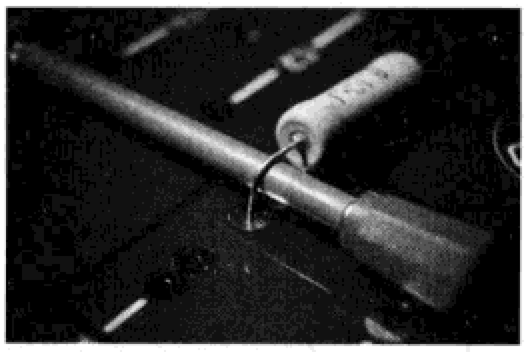


图16 电阻的引脚弯曲处理工艺

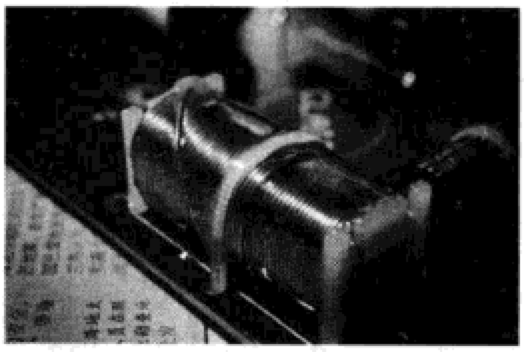


图20 电感线圈的环氧固封处理

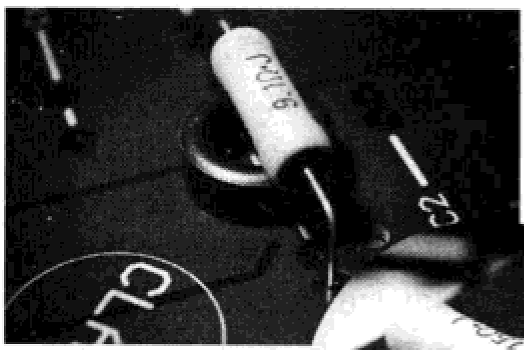


图17 电阻散热采取的垫高处理

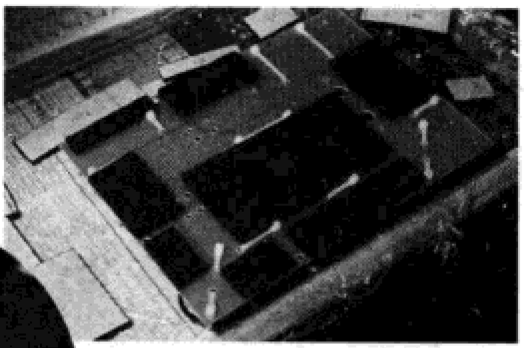


图21 背面贴上减震厚海绵

图18 硬币垫高处理

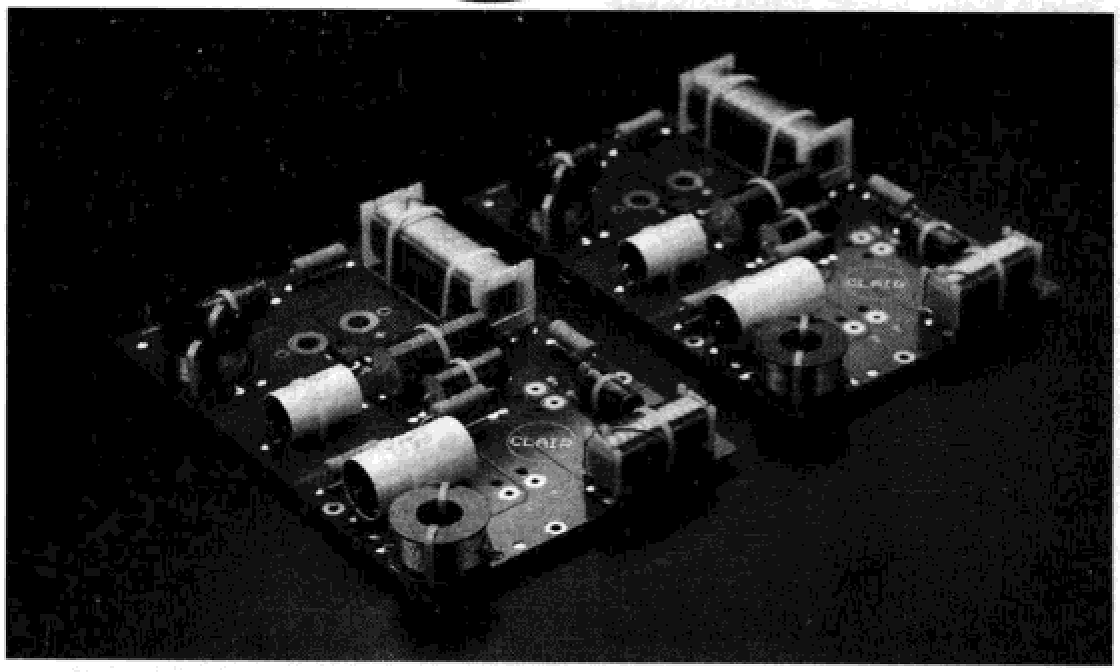


图22 最后完成的分频器

的镜头，一起见证它的诞生。

Clair音箱套件分两个包装，一个为单元与分频器等元件，另一个是箱体的包装。

为了发挥Clair音箱的最高性能，我参照万元级以上进口成品箱分频器的用料理念，将随机元件做了一些调整，分频器原理如图11所示。首先，将无感水泥电阻，全部换成更好的无感电阻。

与低音单元并联的C2031，将随机的无极电解电容换成聚丙烯电解电容，见图12。

唯一的接插件——接线柱，我换成了卡达斯的，见图13。

在制作前，把涉及需要的工具整理出来，以方便取用，见图14。

分频器的焊接，不再赘述，下面重点说明分频器组装过程中的细节。

无感电阻引脚不够长，可用金脚电容剩余镀金方芯铜来延长，具体操作是：先给电阻引脚与方芯铜上锡，越薄越好，然后将两根引脚上、下紧贴，用烙铁加热固定，再用多股镀银裸线排绕两者交接部分，最后烙铁上锡填满镀银线与两者交接部分，见图15。注意：操作时电阻要接上散热片，此时热量会很高。

元件引脚弯角的处理，我用螺丝刀做折弯工具，见图16，这样漂亮点，大家也不妨试试。

高音的并联电阻是所有电阻里功率需求最大的，我做了垫高处理，见图17。

其他电阻功率需求没那么大，就用了2枚硬币做垫高处理，见图18。

随机的扎带是3mm宽的，我换成了4x200的扎带，以增加牢固度，所有扎带头在PCB反面，见图19。

4个电感，我都在外面涂抹上了一层进口环氧，把震动对电感的影响减少到最小，见图20。高档进口箱的分

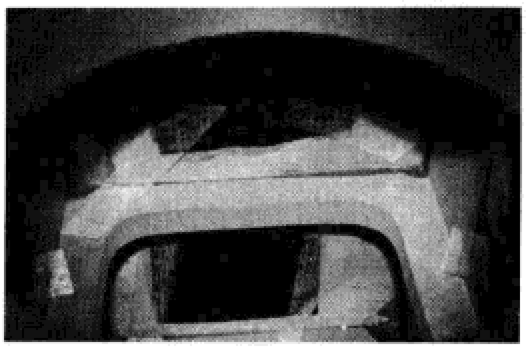


图23 箱体内的贴沥青校声处理

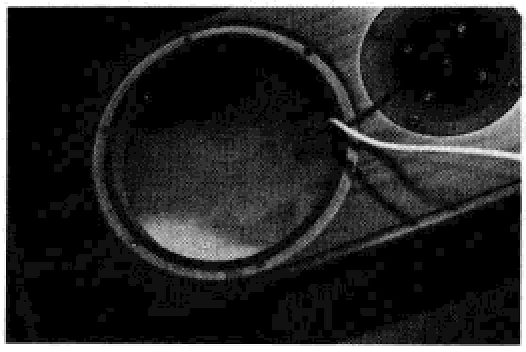


图27 放入吸音棉

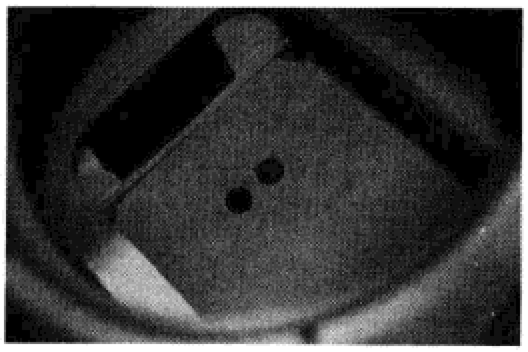


图24 里面接线柱孔垫上密封圈

图28 螺丝要对角上去

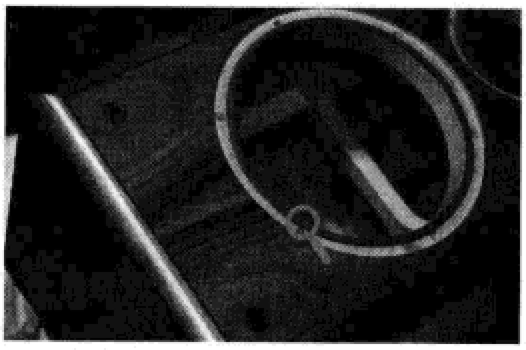


图25 低音外圈贴上密封胶圈

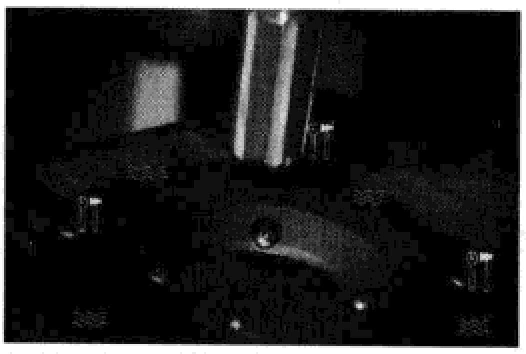


图29 消除应力处理工艺

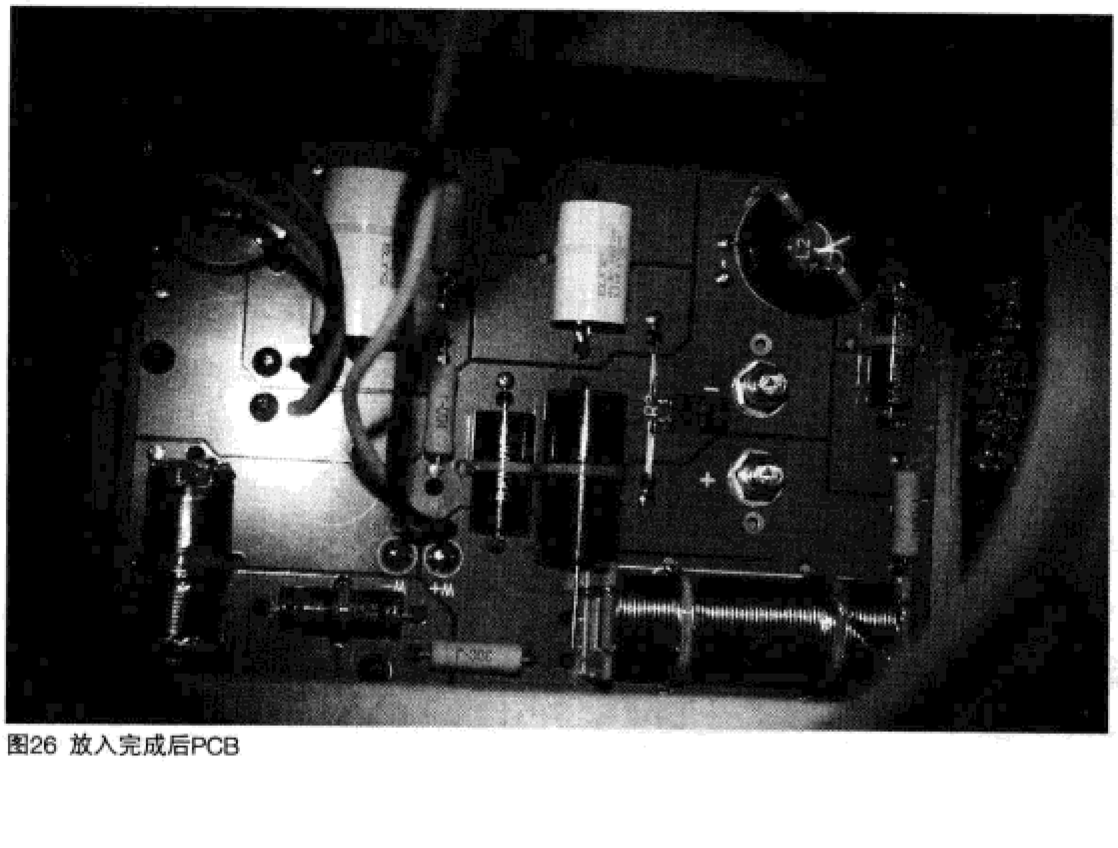


图26 放入完成后PCB

频器无一例外在电感上使用大量的固定胶水。

分频器与背板有3颗自攻螺丝固定，还有2个接线柱的螺母固定，固定的地方压力比较大。为了均衡点压力，我用5mm厚的高密度海面贴在分频器底部，达到均衡压力与减震作用，见图21。

焊接好的分频器电路板如图22所示。

箱体组装

有些进口箱，在里面灌一层沥青，以增加箱体阻尼抗震。如果沥青太多，会增加音染和加大失真。CLAIR已经有加强筋的设计，非常坚实，箱体阻尼也足够，可用少用或不用沥青。

但是试装、试听后感觉可以适当增加点音染，怎么增加，当然是贴沥青板。贴了沥青板，共振点就不一样了，不同的共振点就有不同的音染。经过测量，计算箱内面积，裁剪了2mm厚的沥青板用环氧胶做黏合剂粘贴在箱内（16%内面积），见图23。

待环氧胶完全固化后，在箱内，用2个绝缘帽固定在背板的接线柱孔上，见图24。

随后贴上密封圈，要注意的是，我把密封圈首尾接缝处，放在了螺丝孔旁边，因为这里压力最大，见图25。

然后把分频器放进箱体并紧固，见图26。

再把吸音棉也放进去，需要注意的是别放在倒相孔附近，见图27。

单元的安装，看似简单，就是上上螺丝，其实这里面有很多学问。螺丝位置的应力与两个螺丝之间空挡的应力不同，要让单元的接合面有相同的应力，得到最好的气密度。或者可以这么理解：螺丝的扭矩一定要一样的，否则谐振不均衡。具体操作：先

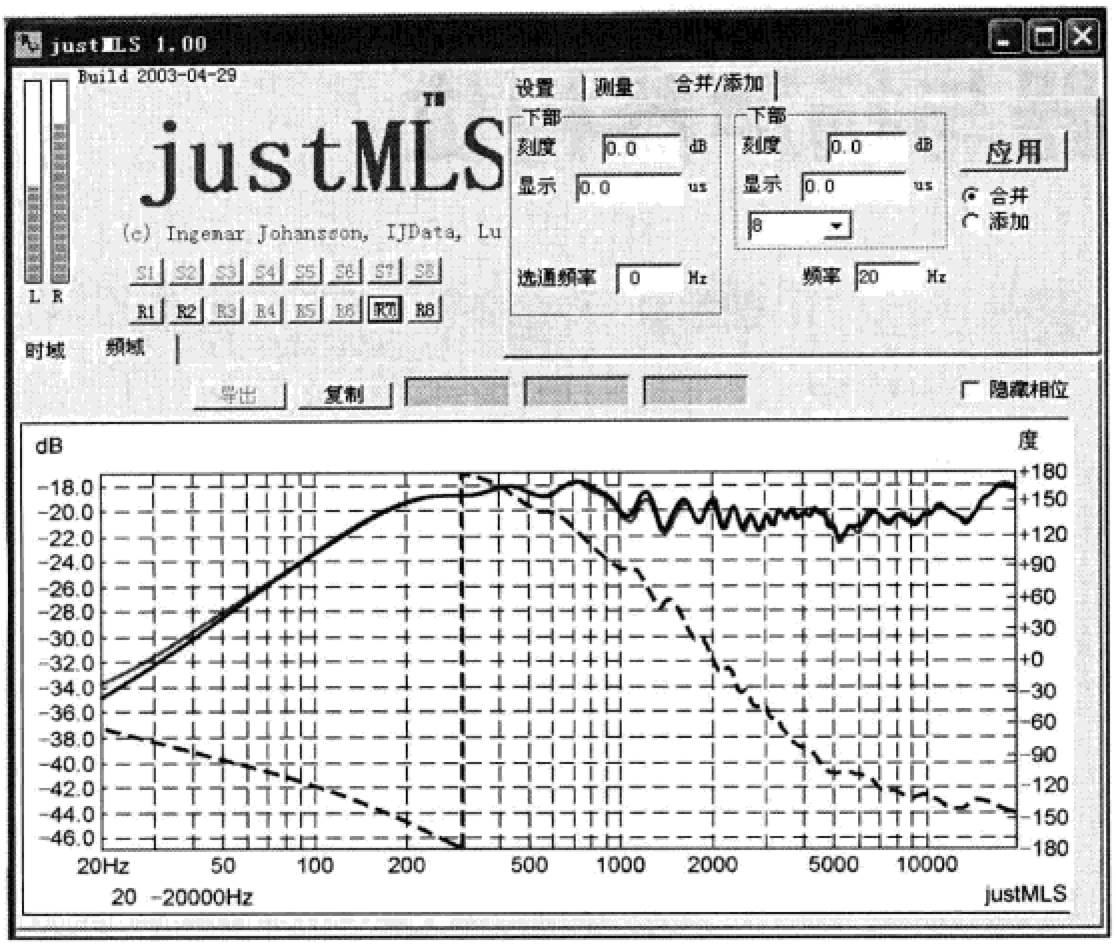


图30 频响测试图

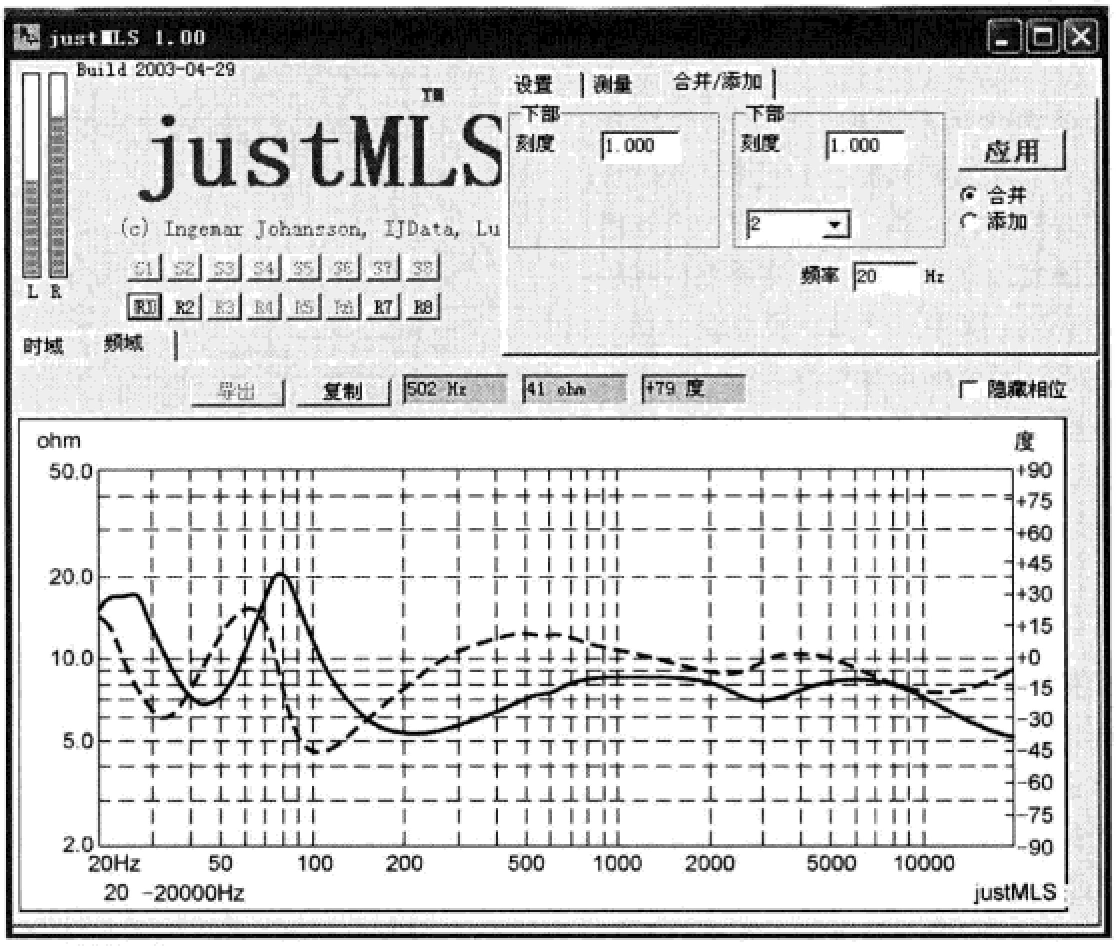


图31 阻抗测试图

把6颗螺丝都拧上去、旋转几圈，不要一次性拧到底，然后再对角上紧，不要一次拧太紧，见图28。

稍拧紧后用螺丝刀的木柄轻轻敲击螺丝，要敲击在对角线位置的螺丝。这是消除应力和间隙误差，最后用预置扭矩的起子设置好扭矩，把每颗螺丝旋紧，当然也是对角线拧（进口箱的每颗螺丝的扭矩都是一致的），见图29。

至此，一套Clair音箱全部完成！新箱子煲箱24小时后进行测试，用测试套件测试了两只箱子的频响，见图30。

两条黑线表示2只箱子的频响曲线，非常一致，频率响应十分平滑。注意，这是业余条件下的测试，MIC是Panasonic WM61。阻抗测试图形见图31。

标称阻抗为8Ω，最低阻抗为6Ω，对于现代功放而言是一个很轻松的负载，绝大多数放大器都可以良好地推动它。

最后当然是主观试音了，试音器材：DIY的CDM12 转盘，DIY的PCM63解码器，汇点8E前级，400W Hi-Fi单声道数字功放。

因为 Clair 的低音是类似于纸盆的，所以建议配稳固的金属架子效果会更好！比如君子脚架。总体来说是相当满意。Clair 有一个很大的优点就是高、中、低音的衔接非常好，分频的箱子一点都听不出声音是从高音出来还是低音出来的，就像是听一个全频的感觉，但是却没有全频扬声器的那种缺点。

另外就是箱子扬声器的指向性比较好，这样会使声音空间有比较良好的纵深度，对摆位也有很大的帮助，空气感会显得非常强。

特别说明 本期介绍的Clair音箱制作套件，目前正在筹备，对这款套件感兴趣的读者请密切关注我们后期的杂志内容。

音箱基础知识

分频器与扬声器相位

◎曾念民

分频器与扬声器相位密切相关，我们只注重分频器的设计，音箱频响曲线是否平坦，而对扬声器相位对音质的影响不够重视，致使音质损失不少。什么是扬声器的相位？简单地说：扬声器纸盆的运动和输入的信号是否一致。由于扬声器纸盆存在分割振动和电转换成机械运动的误差，我们很难保证扬声器纸盆的运动能够跟随输入信号一致。单独一个扬声器相位即使不能跟随输入信号一致，对实际听感的影响也不大，但是对于有两个以上的扬声器音箱系统而言，我们要保证两个扬声器的相位要尽量一致。

我们做个试验，将两个音箱并排贴紧放在一起，用漫步者煲箱工具中的信号发生器重放200Hz信号（图1）。

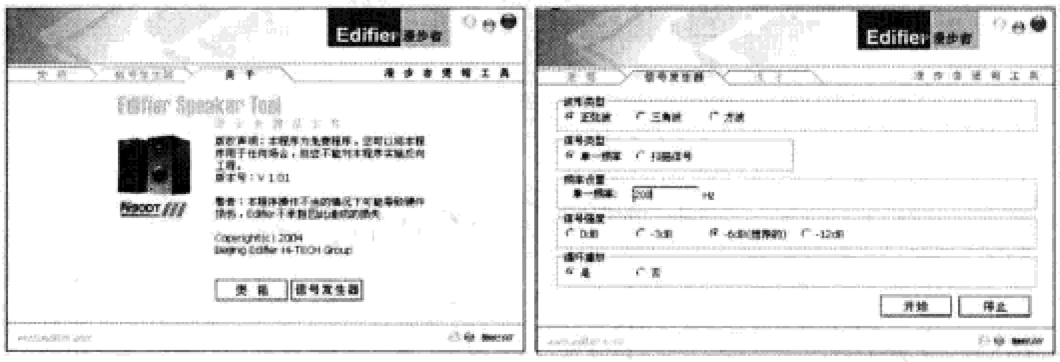


图1 重放信号截屏图

这时两音箱都在重放200Hz信号，由于两个扬声器相位相同，纸盆运动一致，音质不受影响，声波叠加正常。

我们把其中一个音箱反接，两个扬声器重放的声音由于相位相反，纸盆运动不一致，一个低音扬声器纸盆向外运动，一个低音扬声器纸盆向内运动，声波会相互抵消，声音衰减很多，听起来声音变小。由此可知两个扬声器由于相位不一致会使声音减弱，音质受损。

无论是两分频系统还是三分频系统，都会有某个频段的声音是由两个扬声器来共同完成声音重放的。假如某两分频音箱由1英寸高音扬声器和5英寸低音扬声器组成，分频点是3kHz，那么在3kHz附近的声音就是由高、低音两个扬声器同时重放来完成，我们要尽量使该频率附近的高、低音两个扬声器相位一致，两个扬声器纸盆运动要统一，同时向外运动或同时向内运动。假如其中一个扬声器纸盆运动和另一个扬声器纸盆运动不一致，其中一个慢一点或快一点，由于这两个扬声器相位不统一，会出现像前面我们做的试验一样，声音抵消，音质受损，声音减弱，只是没有相位完全相反这么严重和明显。

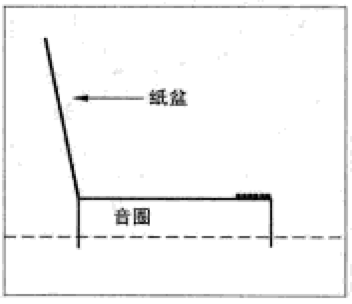


图2 纸盆的运动跟音圈的运动一致

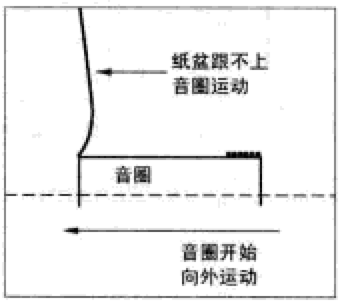


图3 纸盆跟不上音圈的运动

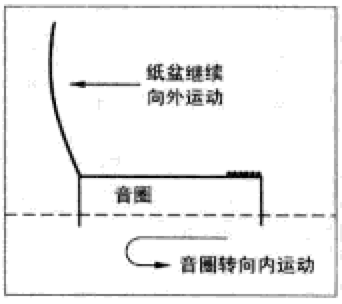


图4 纸盆的运动跟音圈的运动不一致

扬声器相位常会受到以下影响：

扬声器分割振动会影响相位，假如扬声器在1kHz以上出现分割振动，而分频点是在3kHz附近，在3kHz，扬声器处于分割振动，使纸盆运动和音圈的不一致，致使相位会改变（图2、图3、图4）。

高音扬声器接入一个电容也会改变扬声器相位。

我们可以将功放和音圈看成是水泵，功放旋转带动水流动，水流带动音圈跟着旋转（图5）。

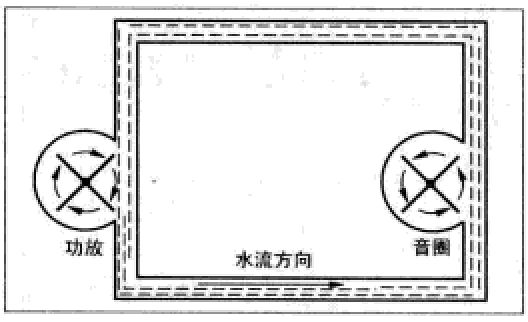


图5

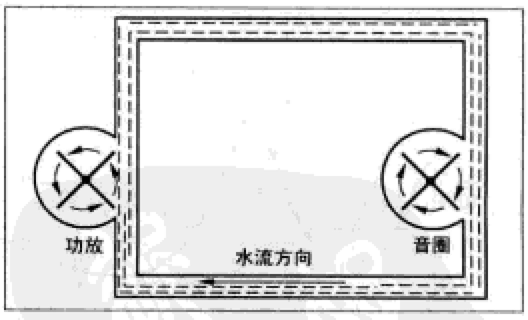


图6

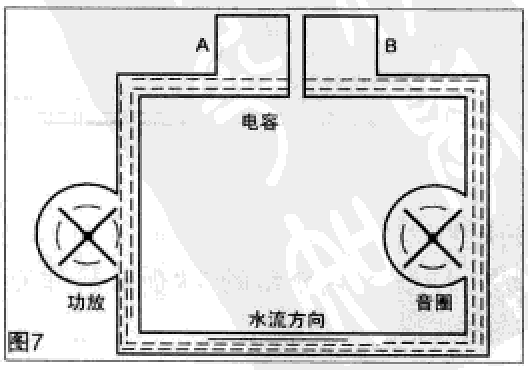


图7

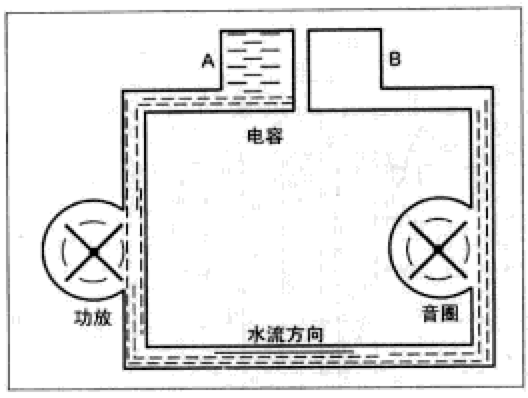


图8

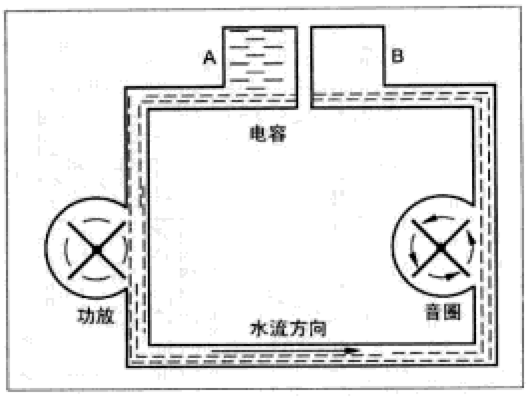


图9

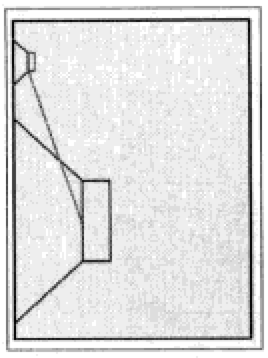


图10 两扬声器相位不在一个平面上

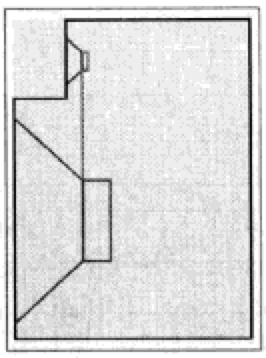


图11 两扬声器相位在一个平面上

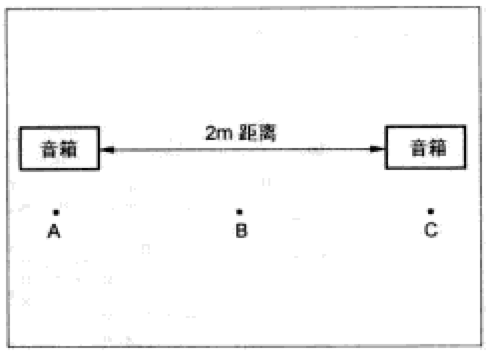


图12 实验示意图

功放反旋转也会带动水反方向流动，水流带动音圈跟着反旋转——音圈的运动和功放的输出信号一致（图6）。

当电路中接入一个电容后，相当于把水管断开增加了两个蓄水池A和B（图7）。

当功放旋转时，水注入A蓄水池内，水无法流动，使得音圈不会被水流带动，音圈也就停止了运动（图8）。

当功放停止运动时，由于A蓄水池的水位高于B蓄水池，A蓄水池里的水开始灌入B蓄水池，水开始流动，推动音圈运动（图9）。

由此我们理解，当功放和扬声器中间加了一个电容后，当功放输出信号振幅最大时，音圈是不运动的。当功放输出回到0V时，音圈反而会运动——音圈的运动和功放的输出信号不一致，会有90°的相位差。当两个扬声器中一个接电容，另一个没有接电容，就会造成两个扬声器相位不一致。

影响扬声器相位因素很多，如果扬声器不是处于同一平面，一个扬声器在前面一点，一个扬声器在后面一点。当后面扬声器的声波到达前面扬声器的位置时，前面扬声器的声波已经出发，两扬声器相位也是不一致（图10），因而要尽量使扬声器处于同一平面（图11）。

扬声器的相位可以测量，通常是将扬声器装入音箱后，测量扬声器频响曲线的同时顺带测量扬声器相位。我们在设计分频器时，假如遇到两扬声器相位不一致而影响到频响曲线，可以采取以下措施：

1. 尝试改动分频点，当两扬声器在某分频点相位不一致时，改到另一分频点后情况也许会有改善。

2. 尝试高、低音扬声器用不同阶数的分频器，比如低音用两阶、高音用三阶分频。

3. 扬声器前、后移动，使高、低音在同一平面。

我们再来做个试验，同样是重放200Hz的信号，把两个音箱拉开2m的距离，声音会定位在两音箱中间，仿佛两音箱中间多了一个虚拟音箱。把其中一个音箱反接，原先定位在音箱中间的虚拟声音没有了，声音偏向一边音箱。这是因为由于两音箱距离远，使得两扬声器相位不一致，对声音的影响不明显，只是两扬声器中间部分声音相互抵消，而两扬声器的前方和两旁边的声音没有被抵消（图12）。

假如我们在测试的时候，将话筒放在A、B、C三个点测试，就会出现A、C点的声音正常，只是B点的声音变小，测试的结果不一致。这会使人怀疑测试只是能对某一个点，某个空间的测试结果，是否还有参考价值？两扬声器相位是否还需要一致？对于这个问题我们需要宏观地看待，虽然A、C点的测试结果是正常的，看不出相位是否一致，这是由于测试条件限制，如同一个人手和脚正常，但是驼背，我们只看手和脚是发现不了问题，只有远距离宏观地看，才能发现是驼背。而两扬声器由于距离的拉开，使得一个“小人”变成“巨人”，由于测试条件限制，无法远距离宏观测试，让我们看不清楚全貌，容易造成测试结果不准确，为保证测试的准确性可以增加测试点。

由此可知，初学者在设计音箱的时候，尽量用两分频，尽量使得高、低音扬声器靠近一点，便于测试和发现问题。假如我们一上来就设计个四分频，采用8个扬声器，2m高的音箱。在业余测试情况下，这个音箱对于我们而言就是个“巨人”，不容易测准扬声器频响和相位，测试结果不准确时难以发现问题。

要检查两扬声器相位是否一致，常用的方法就是将高音扬声器反接，这时会出现三种结果：

第一种，反接高音后声音相互抵消，原本平坦的频响曲线（图13），反接高音后的频响曲线出现非常明显

的谷（图14），表示两个扬声器相位基本一致，分频器设计良好。

第二种，反接高音后声音相互加强：原本平坦的频响曲线（图15），高音反接后峰增高（图16），表明原来的扬声器相位相反。反接高音后，相位正确声音叠加形成了一个谷。由于依靠强制提升中频来贴满该谷，才使得频响曲线平坦。虽然频响曲线平坦，但是对音质而言中频显得刺耳、不清晰。

第三种，反接高音后频响曲线变化不大：反接高音后的频响曲线与原来曲线相比没有明显的谷，表示两个扬声器相位有点不一致，但是不明显，反接高音后声音相互抵消不是很明显。

很多国外的音箱厂商和DIY爱好者都会给出高音反接的频响图，中频部分有个很深的谷（图17），以此证明高、低音扬声器相位是一致的，分频器设计合理，这样得出平坦的频响曲线才是合理的。

然而很多业余DIY爱好者没有测试工具，无法测准扬声器的频响与相位。按照教科书给出的计算公式去设计复杂的分频器只能作为参考，要想设计出好的分频器比较困难。

在这样的条件下只能靠耳朵去调试分频器。

分频器设计尽量用两分频——低音扬声器直通，高音只接一个电容用一阶分频。

高音分频点尽量选择高点。

例如：一个5英寸低音和一个1英寸球顶高音，阻抗都是4Ω，5英寸低音的高频可以重放约5kHz（图18，蓝线是低音频响曲线，红线是高音频响曲线）。

1英寸高音的灵敏度比5英寸低音灵敏度高出约15dB，如果高音只串一个电容用一阶分频，高音要想和低音的5kHz频段衔接，就必须删减15dB。

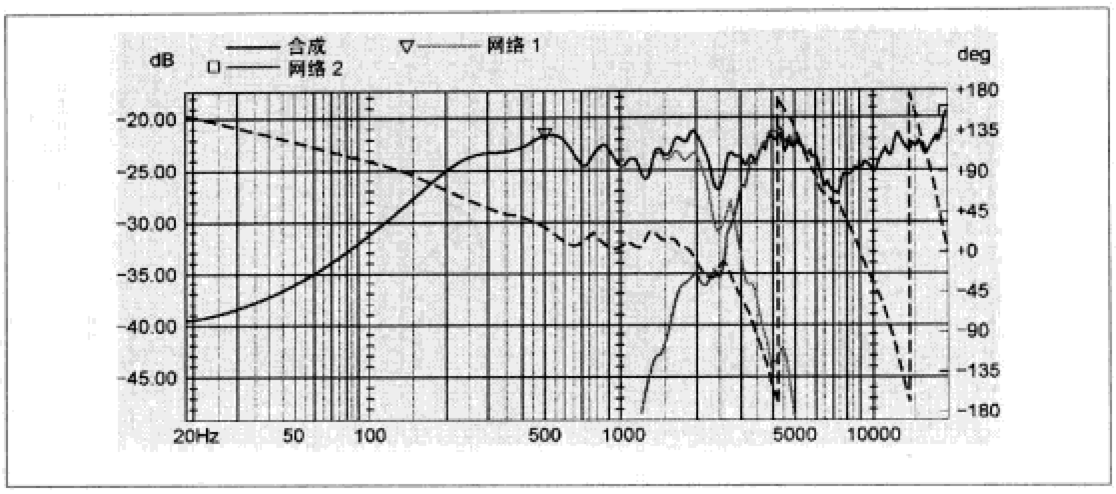


图13 音箱原来的频响曲线

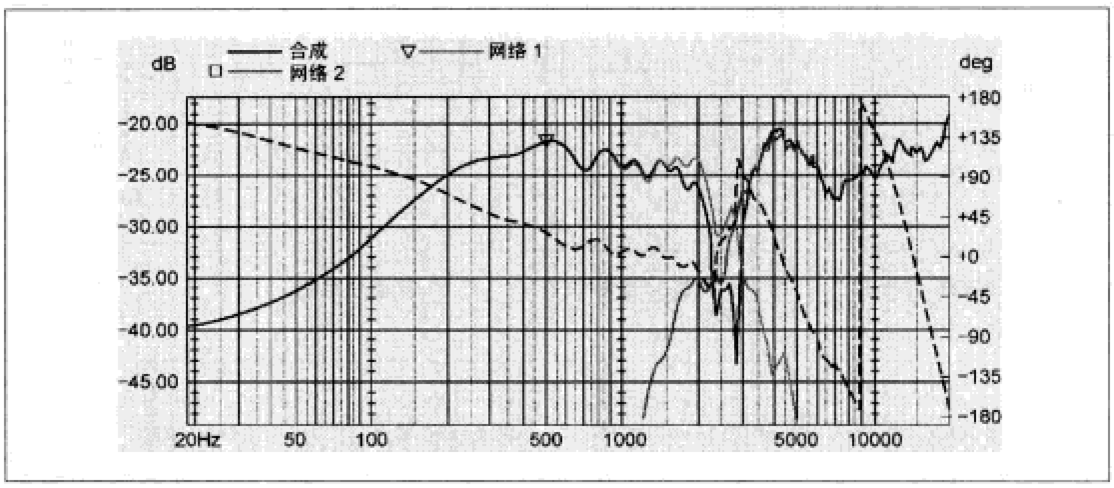


图14 反接高音后的频响曲线

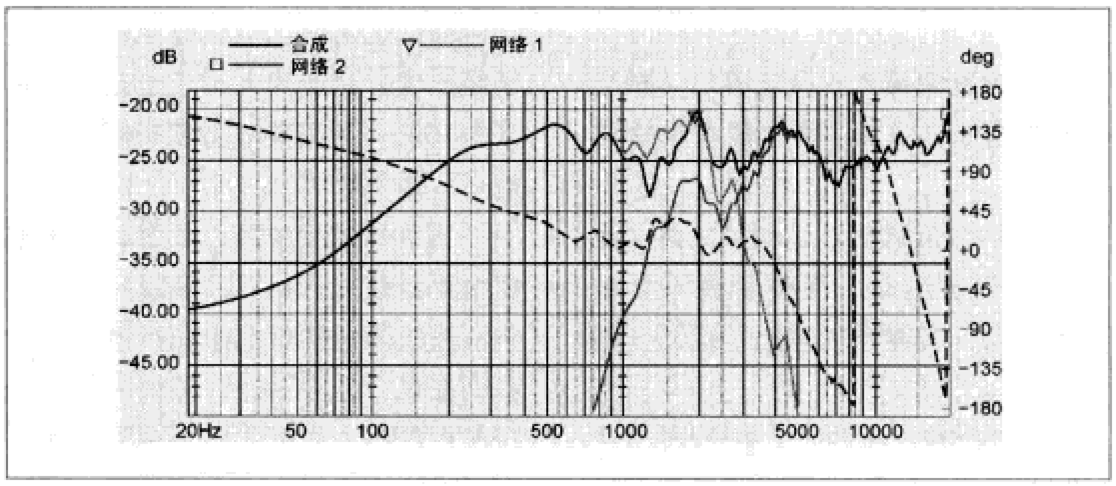


图15 音箱原来的频响曲线

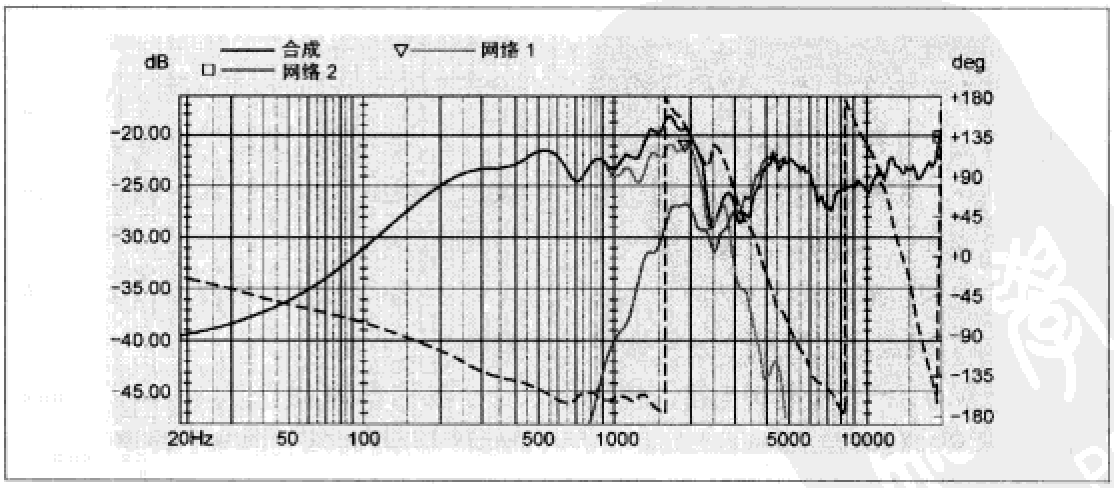


图16 高音反接后峰增高

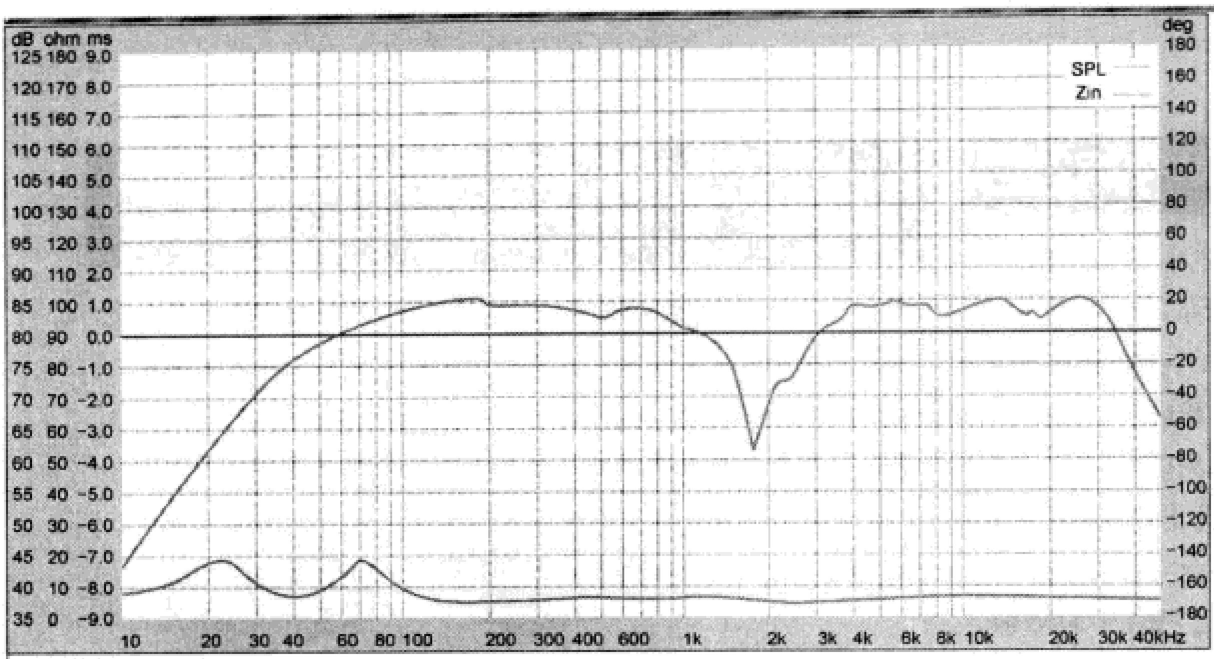


图17 反接高音后频响曲线变化

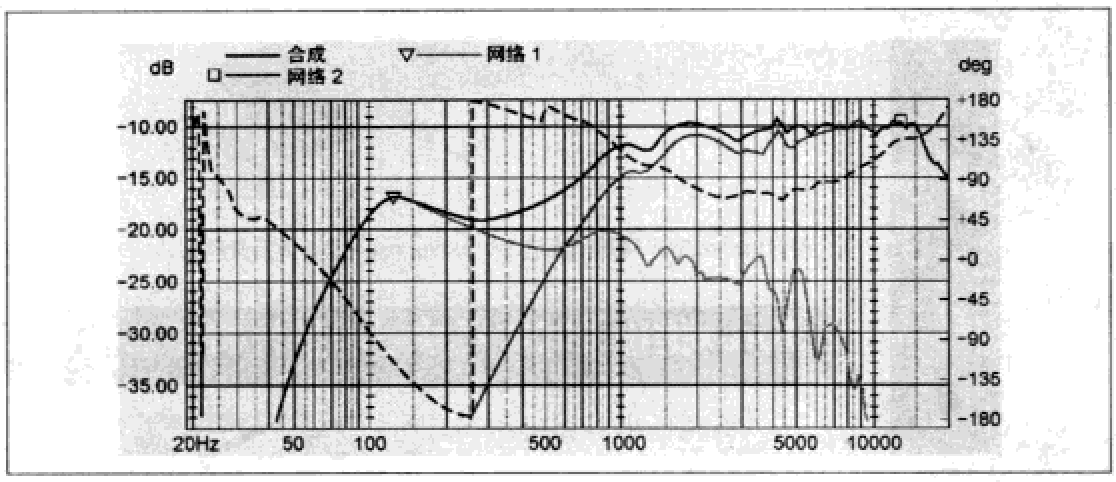


图18 两分频频响曲线

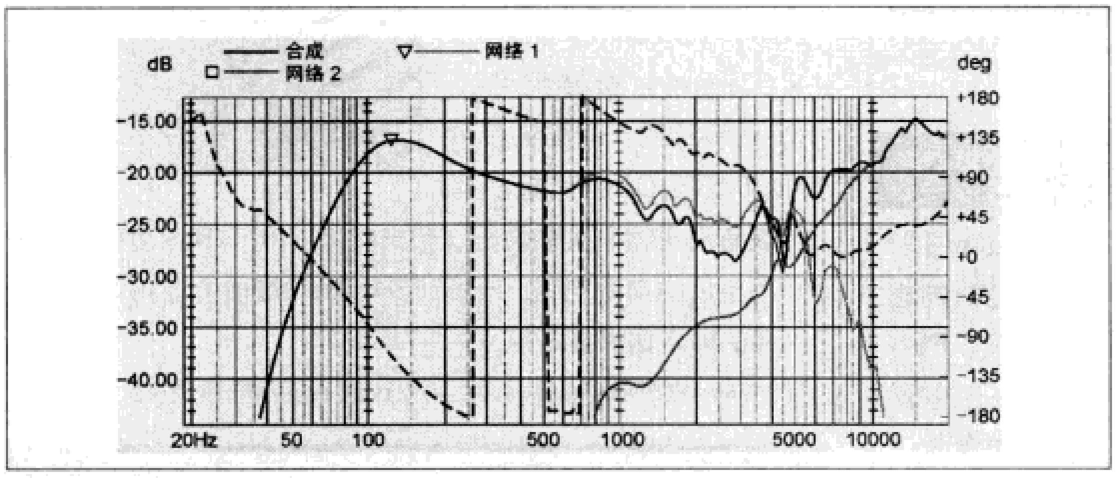


图19 接入1.325μF电容后的频响曲线

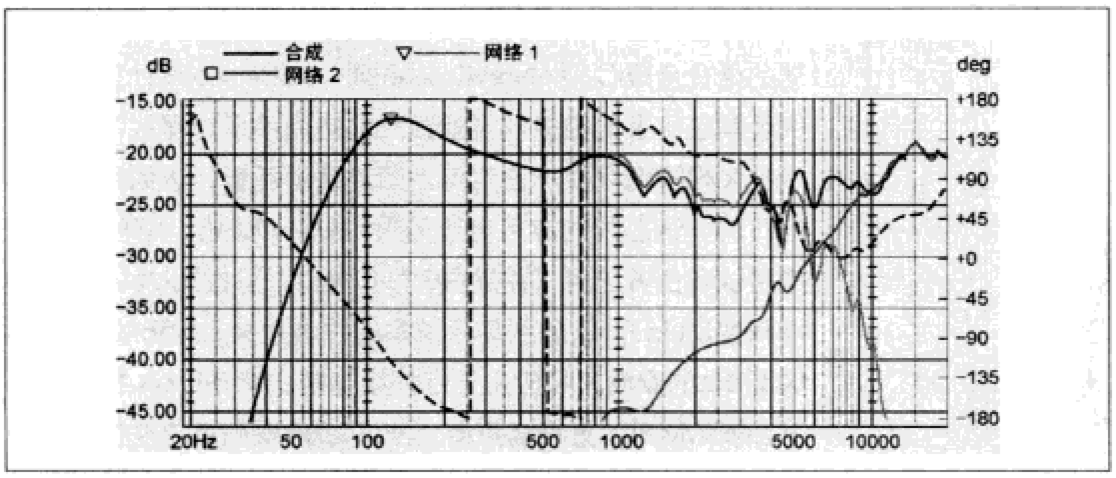


图20

我们知道一阶分频衰减速率是6dB/倍频，15dB/6dB=2.5倍频，高音的分频点就是5kHz的2.5倍频，约在30kHz。

由此计算30kHz的分频电容=159000/30000×4=1.325μF。

虽然这个分频器很简单（图19所示的是接入1.325μF电容后的频响曲线），但是实际听音效果要远远超出很多设计不合理的复杂分频器，而这也是音箱制作大师长冈铁男常用的分频方式。

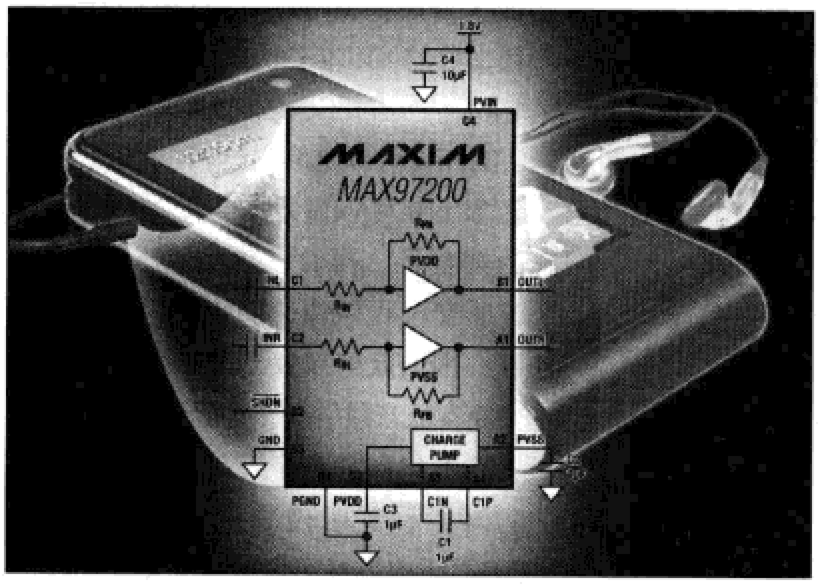
当然实际制作也不需要这么复杂，我们可以准备0.75μF、0.82μF、1μF、1.5μF、2.2μF、2.7μF、3.3μF做分频电容，这7种数值的电容基本上就可以满足常用的扬声器系统的需要了，再做一个7段切换开关，在听音过程中快速切换不同容量的电容，很快就可以找到那个容量的电容使高、低音最平衡，实际试听1.325μF左右的电容，高音还是比较亮、比较刺耳，反复比较后，最终觉得采用0.82μF的电容比较适合（图20所示的是换成0.82μF电容后的频响曲线）。

如果喜欢高音亮丽点的也可以选择1μF以上的电容。但是用该方法制作分频器也有个缺点，对扬声器的要求比较高，高、低音扬声器必须是频响比较平坦、失真小、素质好的扬声器。频响曲线不平坦的扬声器是无法通过这种简单的分频器来补偿得到平坦的频响曲线的。

由此看出分频器设计的复杂性，仅依靠一些简单的计算公式是不能设计制作出好的分频器的。这也是为何很多名厂的分频器元件数值和我们依靠公式计算出的数值有很大出入，很明显是由于设计分频器时都考虑到了对音箱频响曲线的均衡补偿以及对高音扬声器灵敏度过高的平衡，在下期我们将通过实战让大家了解分频器的设计和均衡补偿的作用。

Maxim推出双模H类耳机放大器MAX97200

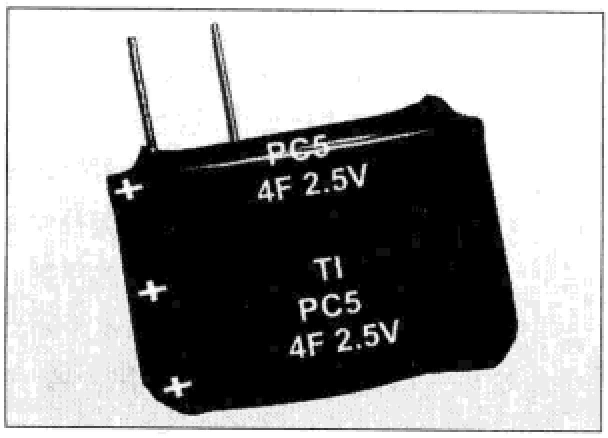
Maxim推出双模H类耳机放大器MAX97200，采用Maxim专有的DirectDrive II技术，采用内部双模电荷泵，从外部1.8V稳压源产生±PVIN和±PVIN/2电源。MAX97200在输出信号幅度较低时采用±PVIN/2电源供电，只有当负载需要较大输出功率时才切换至±1.8V电源，可有效延长音频播放时间，是效率极高的H类架构。MAX97200的效率几乎是AB类放大器的2倍。它的大小只有2mm²，是目前市场上尺寸最小的立体声耳机放大器，适用于电池供电的便携设备。在2～5mW输出功率范围内，MAX97200的效率可达20%～29%。



登录美信官方网站http://china.maxim-ic.com/可申请免费样品

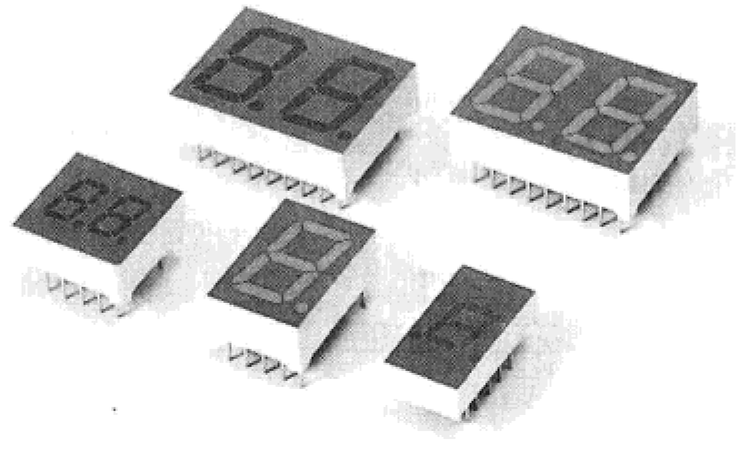
Tecategroup推出主电源用的超级电容PC5

Tecategroup推出主电源用的超级电容PC5，该电容采用不锈钢密封的平板式设计。电容充电速率等于放电时的速率，具有静电存储能力，超过500 000次和10年寿命。PC5型超级电容适合与电池或其他电源直接联接，能在主电源出现故障时提供供电、保持或桥接电源，直到备份电源激活以后。该器件适合软关断、电池互换和保持存储数据，具有2.5Vdc电压和4.0 F的电容，工作温度范围为-40～+70℃。



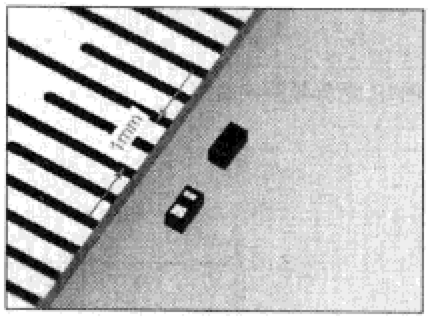
Lumex公司推出适用于高发热环境的LED数码管

Lumex公司推出能承受105℃高温的7段LED数码管，适用于高发热环境中。0.25W显示器采用0.28"～4"字符高度，与标准驱动器兼容。器件应用包括工业控制，以及飞机、汽车、GPS和对讲机系统等在内的领域，还有家用电器中。



登录Lumex官方网站http://www.lumex.com/可申请免费样品

Torex推出 0603 尺寸超小型肖特基二极管



特瑞仕半导体推出了世界上最小级别的超小型肖特基二极管，使用USP-2B01（0.6mm×0.3mm×0.3mm）封装尺寸。型号为XBS013V1DR-G和XBS013R1DR-G。超小型封装有利于缩小实装面积、节省空间，利于节省功率，适用于小电流的电源电路。XBS013R1DR-G最适合应用于各种放大器的输入保护电路中。

登录特瑞仕官方网站http://www.torex.co.jp/chinese/可申请免费样品

新唐科技推出第一颗单颗电池语音IC方案

新唐科技针对玩具产业应用，推出第一颗以单颗电池推动的语音合成IC——N584Lxxx系列。N584Lxxx设计重点为解决玩具应用上的因多颗电池造成的空间不足与摆放不便，进一步大幅降低玩具产业对电池的高度消耗量，达到绿能玩具的目的。该芯片的应用电压范围为1.0～1.8V，内建4位微控器用以多任务应用，并提供8个I/O端口，可搭配Ultra I/O™功能来推动LED，以达到高分辨率的明暗效果。N584Lxxx也提供38kHz的载波，可应用于红外线控制。N584Lxxx 提供一组9位的PWM用以直推扬声器。N584Lxxx系列目前提供三款不同语音长度（20s、30s、40s）的IC。

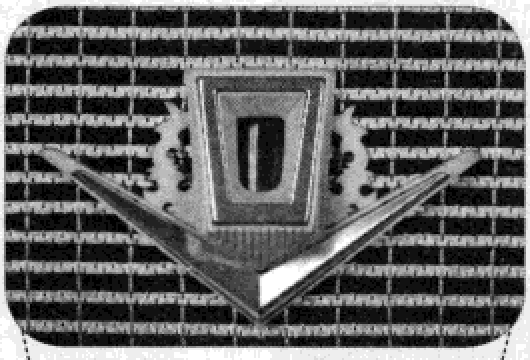
鉴赏与收藏

◎陈汉燕

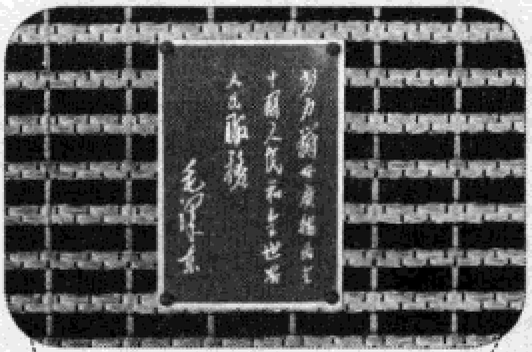
国产十大台式电子管名机 1

——飞乐272型收音机

从收音机的体积和性能指标来看，国产大型台式电子管名机至少应有十种，这还不算它们的衍生系列产品。这十种收音机按照配置、性能指标和存世的稀有程度综合排序，分别是：熊猫1401（14管）、上海133（9管）、熊猫1503（15管）、牡丹911



V字形猫眼



早期版本的272收音机

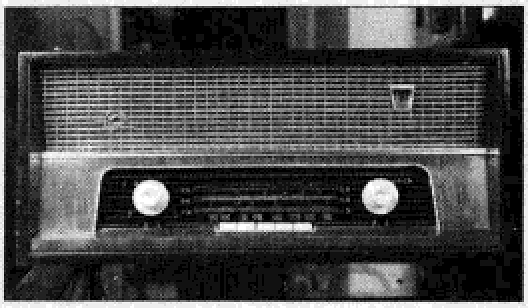
早期的272型收音机

早期的272型收音机背板

（9管）、飞乐272（7管）、东方红802-Y（8管）、春雷101（10管）、飞乐271（7管）、上海132（7管）、上海131（7管）。其中1401、1503、911型收音机属特级机，除春雷101型收音机是二级机外，其他型收音机都为一级机。飞乐272型收音机位居一级机中的第一。当然，当年的评级结果，并不能与今日老收音机的收藏价值完全挂钩。

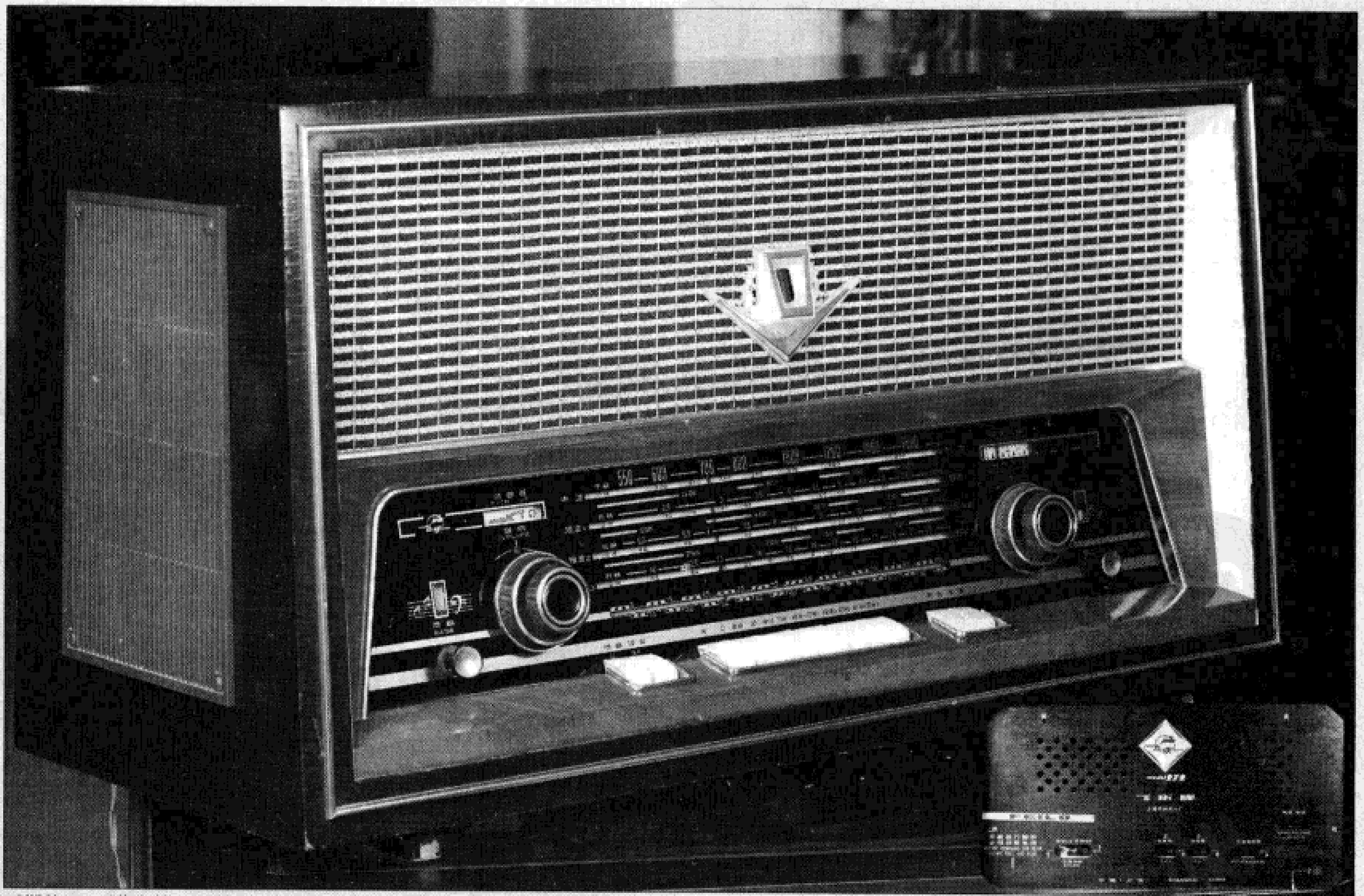
飞乐272型收音机上市于1964年，由上海无线电二厂制造。但是，飞乐牌大型电子管收音机的血统与上海广播器材厂的131、132系列机是一脉相承的。不知出于何种考虑，大概从1961年起，上海广播器材厂的131、132系列收音机的机型，转至上海无线电二厂生产，自己不再生产大型收音机。其过渡产品，即1961年出品的飞乐牌2Y-2070和上海牌132-1TH，这两种收音机的机芯，与上海131、132型收音机基本相同。早期的飞乐2070型收音机为节约起见，甚至直接使用了上海132的度盘。直到1962年生产飞乐271型7管收音机时，仍旧在沿用上海132收音机的机芯。从飞乐272型收音机开始，才对整机的电路、机芯结构和机箱造型进行了彻底地革新。有关该机电路的改进和特点，已有文章介绍了，本文重点谈谈飞乐272型收音机的造型及收藏方面的情况。

飞乐272型收音机的造型，多少可以感觉到德国收音机的一些韵味，如4个辅助按键与主按键的分组排列、塑铝结合的V字形猫眼框，使收音机显得疏朗大气、典雅华贵，猫眼左右对称的两条龙、细格子喇叭布、度盘周边的装饰和色彩搭配，又透射出浓郁的民族风



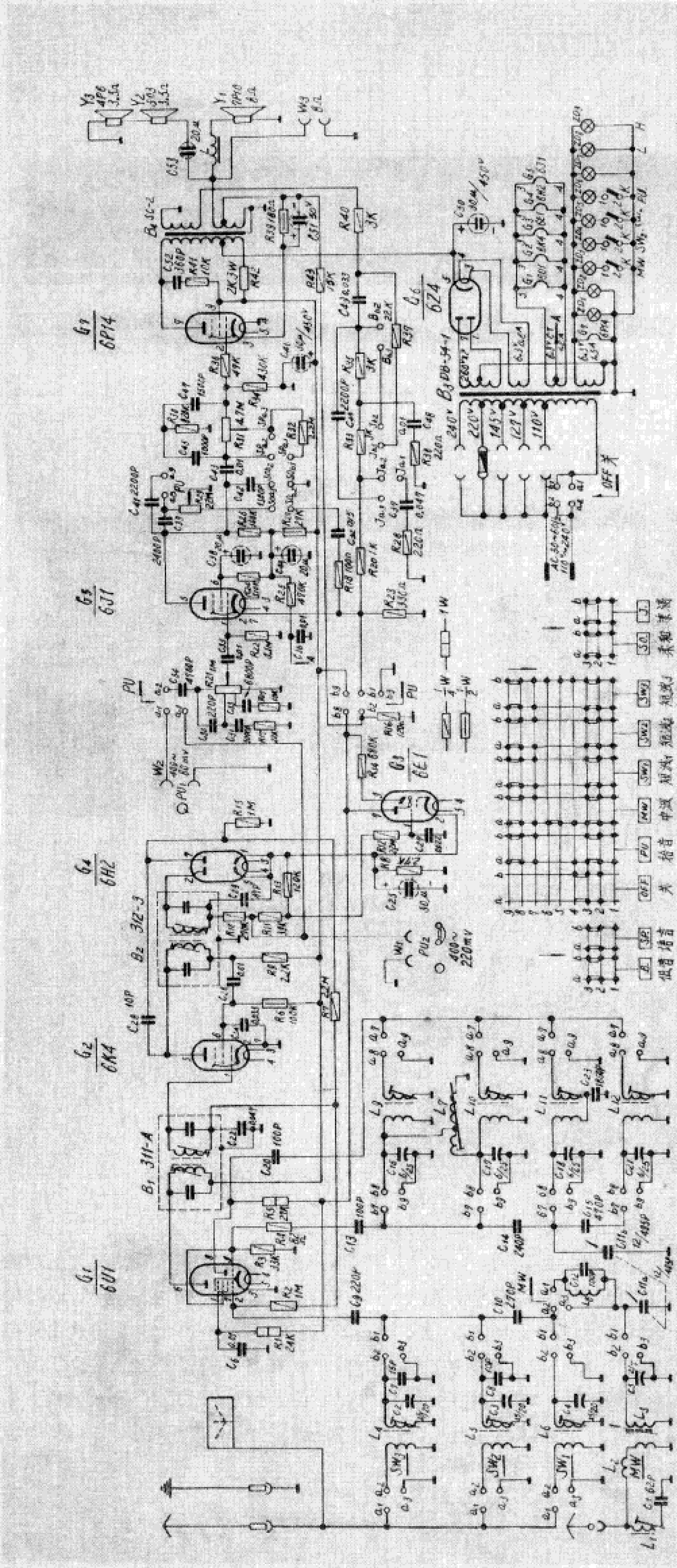
飞乐265-4型收音机

情。我们稍加注意就会发现，272型收音机外观的某些特色，在1963年推出的飞乐265型系列机中，已经略显端倪。1964年出版发行的《收音机手册》第2集，封面上刊登了一幅飞乐272正式发布前样机的图片，造型更加接近德机，但最终还是中西结合，突出本土的设计占了上风。我认为，这是非常正确的选择。需要指出的是，飞乐272型收音机已面市了10余年，前后曾经出现过两种版本。两种版本的区别主要有以下



后期的272型收音机

后期272型收音机的背板



飞乐272型收音机电路图

中国轻工业品进出口公司上海市分公司

中国上海虎丘路128号　　电报挂号 "INDUSTRY" Shanghai.

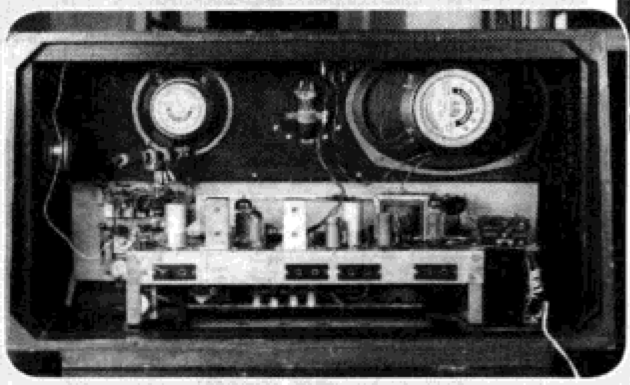
China National Light Industrial Products Imp. & Exp. Corp.

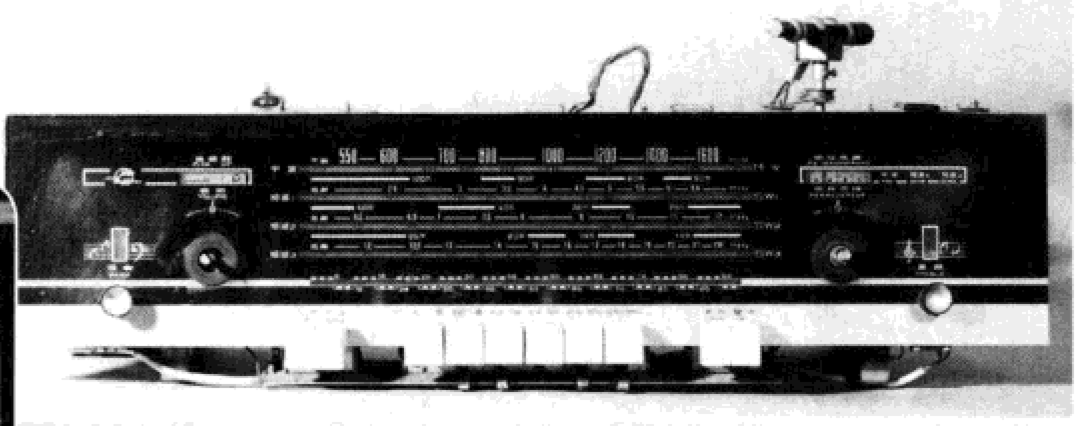
SHANGHAI BRANCH

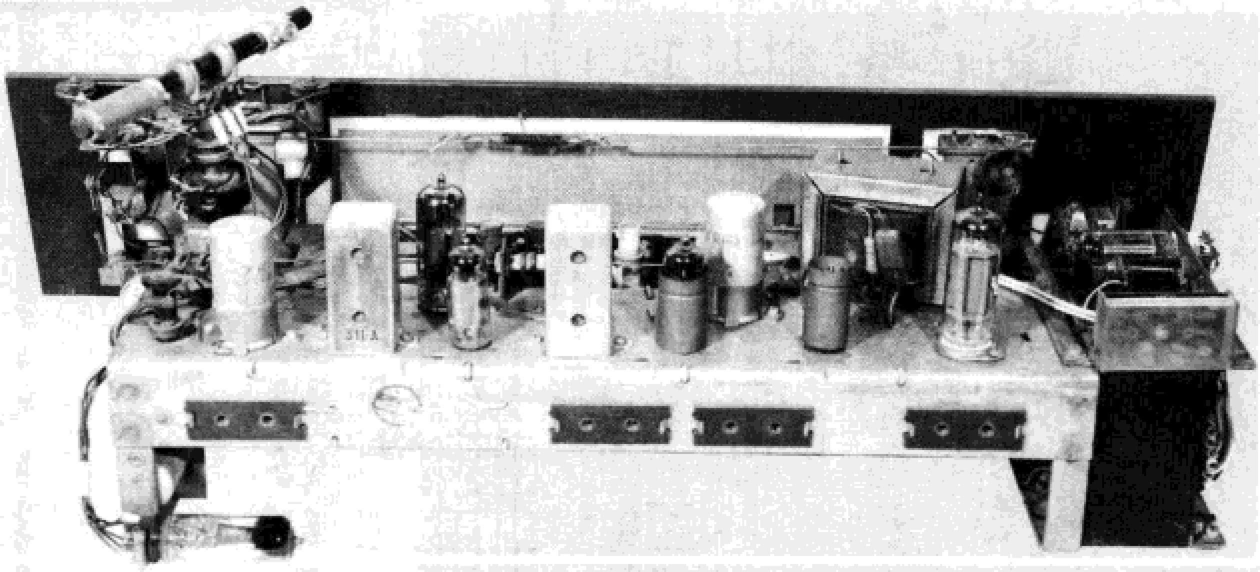
Address: 128 Huchiu Road, Shanghai, China　　Cable Address: "INDUSTRY" Shanghai.

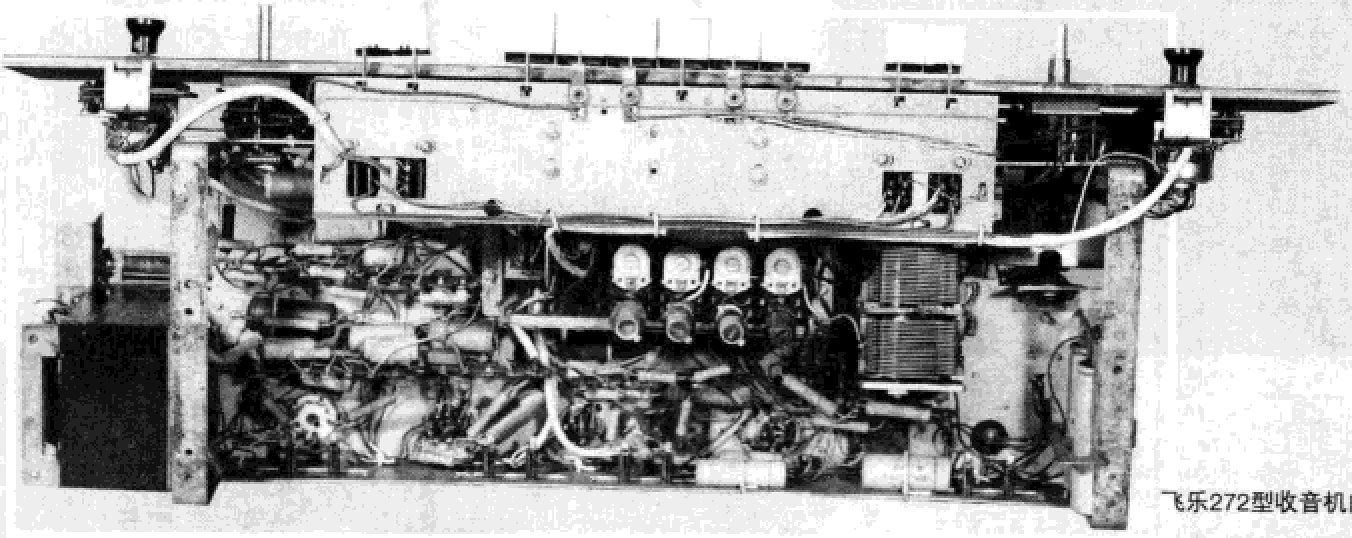
我公司保留对样本内所印各种规格及文字说明等有更改增删之权。

The description, illustrations and specifications given herein are subject to alteration without notice and thus without any obligation.





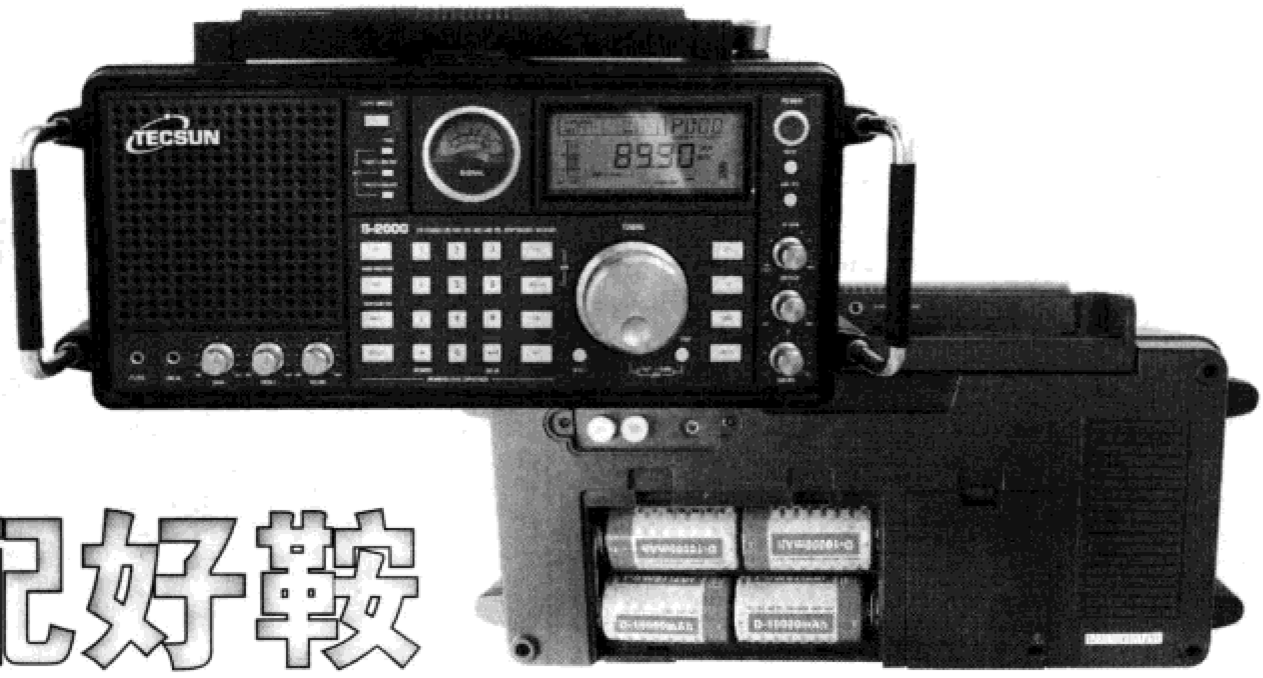




飞乐272型收音机内部结构图

几点：(1) 早期背板上的字为繁体，并绘有底板元件布局图。后期背板字为简体，没有元件布局图。(2) 早期的度盘为有机玻璃材质，后期为普通玻璃。(3) 早期的正面喇叭布下边没有金属装饰条，后期的有。(4) 早期机箱上、下两端的金属装饰条的中间有一约 2cm 长的结点，后期没有。(5) 早期的收音机的度盘下方有一较粗的黄颜色色条，后期的黄色条变窄并上移。第3、4、5种区别，从附图可以清楚的看出。另外，早期版本的 272 型收音机还有一款带红色语录牌的，上书毛主席有关广播事业的一段经典文字："努力办好广播，为全中国人民和全世界人民服务"。该机生产于"文革"初期，十分珍贵。

近一两年来，飞乐272型收音机在收音机收藏界快速升温，其价格翻了两三翻。原因之一，恐怕与人们对德机的喜好与日俱增有关。当然，272型收音机的日益抢手，主要还是由其自身的优良品质和较少的产量决定的。本文图示的两台飞乐272型收音机为笔者所藏，分别生产于1967年6月和1973年5月。



◎张建雄

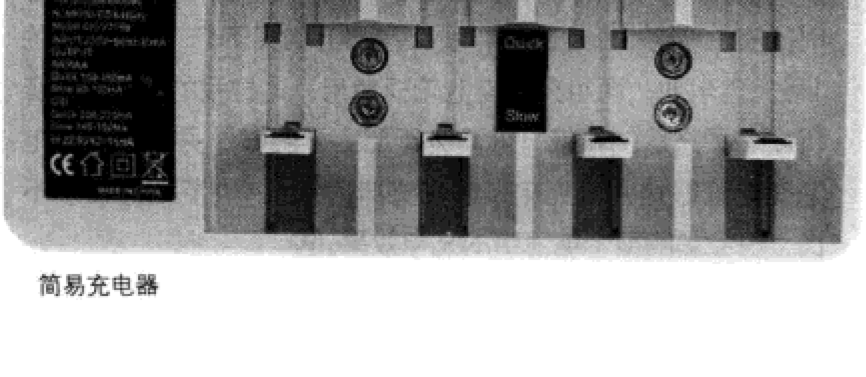
好马配好鞍

——给德生S2000收音机配备大容量1号充电电池

德生公司于2008年底推出的S2000全功能高级收音机，堪称是国产收音机的奇葩，S2000收音机以它独特的外形、优良的性能、超强的功能和便利的操作性，深受广大无线电广播收音机爱好者的喜爱。我也毫不犹豫地购买了一台S2000收音机。

S2000收音机是小台式收音机，使用4节1号电池直流供电，或用交流220V经机内变压器降压整流供电。大家知道，普通收音机在使用交流220V市电供电时，多种电磁信号以及交流电本身50Hz的交流信号也会通过交流电串入收音机内，与正常广播电台的广播信号一起被收音机接收和放大，并通过扬声器播放出来，这就是我们通常所说的杂音（噪声）。为了尽量减少噪声干扰，提高收音机接收电台信号的质量，大家在使用收音机时，都会尽量避免用交流电，而喜欢用干净的直流电给收音机供电，如各种干电池、充电电池或蓄电池等。S2000收音机也不例外，为了尽量取得好的接收广播的效果，我决定不使用交流供电方式给S2000收音机供电，只用电池供电。S2000收音机在出厂时，德生公司给每台机器配置了4节5号电池转换器（筒），以方便用户用5号电池通过该转换器（筒）给S2000收音机供电，虽然用5号电池通过转换器（筒）给S2000收音机来供电是不错的办法，但由于5号电池体积小，电池的容量也不大，1节5号电池的容量一般也就2000mAh（毫安时）左右，而S2000是台式机，输出功率比较大，导致耗电量也比便携机要大，用5号电池供电的话，用不了几个小时电池就没有电量了。为了解决这个问题，决定用大容量的1号电池来给S2000收音机供电。

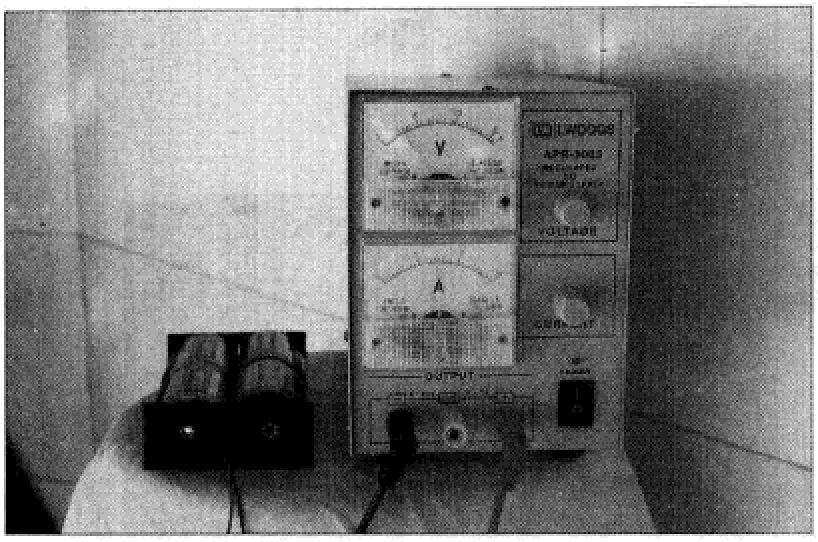
主意已定，着手购买1号充电电池。由于笔者居住在小城镇，很难在当地购买到1号充电电池，无奈只得在网上购买。经过一翻搜索，找到了一款10000mAh的1号充电电池。该1号充电电池是镍氢充电电池，具有较大的能量密度比，这意味着在不给用电设备增加额外重量的情况下，使用镍氢



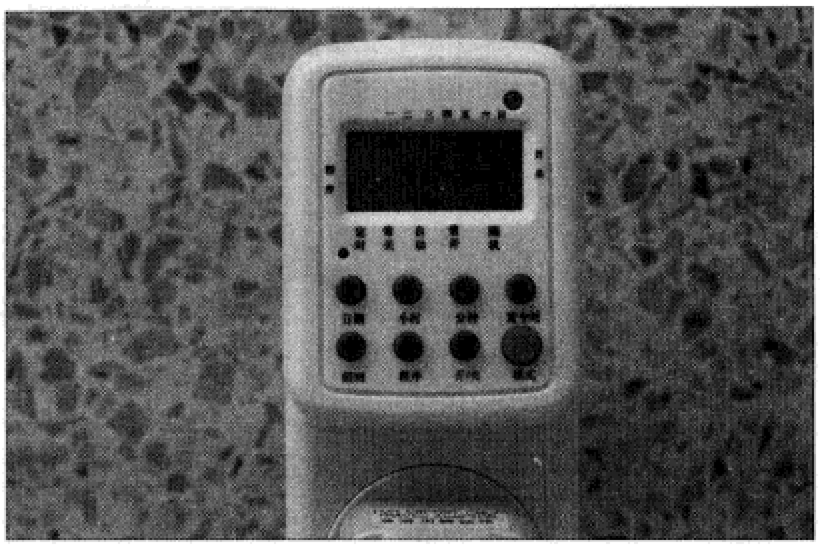
简易充电器

10000mAh的电池

9000mAh的电池



刚开始充电



定时器

电池能有效地延长设备的工作时间。镍氢电池另一个优点是：大大减小了镍镉电池中存在的“记忆效应”，这使镍氢电池可以更方便地使用。当然，镍氢电池也有他自身的缺点，据网友介绍，镍氢电池漏电电流比较大，存放时间一长，电池的电量就很快降低了。在对比了镍氢电池和镍镉电池的特性之后，还是决定购买10000mAh的1号镍氢电池。在网上，该款电池的标价是1节55元，经过与卖家的讨价，最终是4节200元成交。买了充电电池，还要有给电池充电的充电器，在买充电电池时，卖家就推荐了一款多用充电器，可以充1号、2号、5号、7号电池，而且该充电器的价格也不贵，也就一同购买了该款充电器。

经过几天的等待，所购买的1号充电电池和充电器收到，经简单检查充电器后发现，卖家推荐的这款几十元的多用充电器，是一款简易充电器，没有电池检测电路和功能，而且充电电流也太小。大家知道，镍氢电池的充电以慢充为最佳，充电时间（小时）＝电池容量（mAh）×1.5÷充电电流(mA)，镍氢电池充饱后电压是1.45V。而该充电器的充电电流才110mA，照此计算，10000mAh的镍氢电池充电完成需要135个小时，如果充电时间超过135小时，则会对充电电池不利，缩短电池使用寿命。

面对需要充电5天半才能充电完成的充电器和电池，我有点六神无主，难道给S2000收音机配备大容量充电电池的美好计划就这样半途而废？不行，总得想出一个解决的办法，俗话说办法总是比困难多，就在我不停地想用什么办法好时，我的目光落在修理台上用于修理收音机用的直流稳压电源上，我琢磨能不能用稳压电源给1号充电电池充电呢？理论上只要充电电流约为1/10电池的容量即可，这样只需充电15个小时左右就能完成对电池的充电。主意已定，马上就动手试试。因为没有并联的1号电池盒，只能用4节1号电池串联的电池盒试试了，经简单计算，电池串联后的电压是所有单个电池电压的总和，电池的容量不变，单个镍氢电池充饱后电压是1.45V，则4节充电电池的电压是5.8V，充电电压略高于电池的截止电压，取6V充电电压。把电池装上串联的电池盒，电池正极连接稳压电源输出的正极，负极接负极。打开稳压电源的开关，这时候观察到初始充电电流较大，有1.8A，不到2分钟，充电电流回落到1A左右。经过半个小时的观察，充电电流在1~0.8A。得到充电电流的数据后，就要设定充电时间了，以免超过充电时间对电池造成伤害。刚好我手头有一个多功能交流定时器，可以设定自动开关交流电的时间，给定时器设置16小时的关闭时间，然后把稳压电源的交流输入插头插在定时器的输出插座上，一个定时充电装置就设置完成。

16小时后，定时器自动断开充电器电源，充电完成，用手摸1号电池的外壳，有微热，属于正常现象。取出充好电的1号电池，用万用表测出电池的电压为1.4V左右，正常。将充电电池装入S2000收音机的电池仓，将S2000收音机的系统设置为28（充电电池供电状态），其电池容量显示为满格。打开收音机的电源开关，选择FM波段，调谐至本地FM电台频率（89.9MHz），扬声器传出来“骏马奔驰保边疆”的嘹亮歌声，一首歌播送完，扬声器里很安静，没有用交流供电时的微弱“嗡嗡”交流干扰声，达到了理想的效果。据初步测算，S2000在收听的时候开至中小音量，工作电流在80~100mA，理论上10000mAh的充电电池能使S2000收音机工作约100小时，假使每天开机3个小时，就能工作一个月。

由于S2000收音机不带充电功能，为了保证在电池充电时间S2000能不断电工作，我又在网上购买了4节9000mAh的1号充电电池。两组充电电池轮换使用，这样我的S2000收音机就有了充足的精粮，好马终于配上了好鞍。另外，充电电池充电最好是并联充电，串联充电时如果有1节电池性能不良，将会影响整个电池组的充电效果。

国产十大台式电子管名机 2

——上海131型收音机

◎陈汉燕
徐　蜀

上海131型电子管收音机是上海广播器材厂（以下简称上广电）1958年的产品，是我国正式发布的第一台一级收音机。有关该机的最早信息，是由《无线电》杂志1958年第4期的一篇名为“无线电工业的喜讯”的报导披露出来的。报导称，“上海广播器材厂试制成功141型一级收音机”，并附有收音机的图片。可见此机最初曾被命名为141型，定型后又更改为131型。更改的原因已无从考证。其实，无论131还是141，都有悖于上广电交流收音机第二位数字代表电子管数量的型号排序规律。如此前出品的131、142、154、161等型号收音机，分别为3管、4管、5管和6管机。但这台7管机却没有采用171的序号。从公布的图片看，在喇叭布的左下方，有一个菱形标记，应该是上广电的菱形珐琅厂标，定型后的产品将其取消了。再有就是正面内框的四周边缘，似乎有金属条镶嵌（这样更接近根德2035），机箱侧面也有稍微的不同。

1958年是中国收音机发展史上举足轻重的一年。那一年，国家有关部门制订了收音机的相关标准，公布了电子管收音机的评级办法，举办了全国第一届收音机观摩评比会；并组织若干收音机制造厂研制生产高级收音机。这些收音机不仅外观豪华美观，电器性能也符合国定一级、特级收音机的标准。生产高档收音机的目的，一方面是为了“进一步改善我国人民的文化娱乐生活”，另一方面也是出口的需要，是“为我国的社会主义建设事业换来更多的外汇”（见《无线电》1958年9期16页）。根据现有资料，当时承担研制高级收音机的厂家，除上海广播器材厂外，还有北京无线电器材厂和南京无线电厂，后两家工厂1958、1959年分别推出了牡丹911、熊猫1401特级台式电子管收音机。

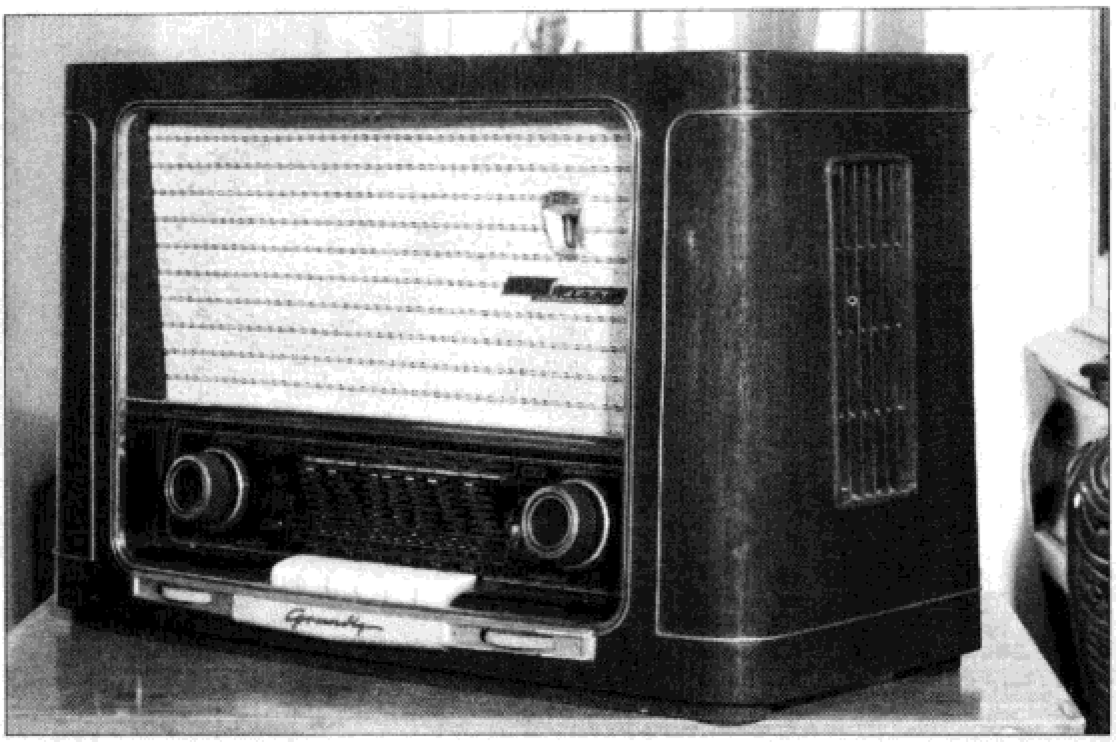


图1 根德2035型收音机

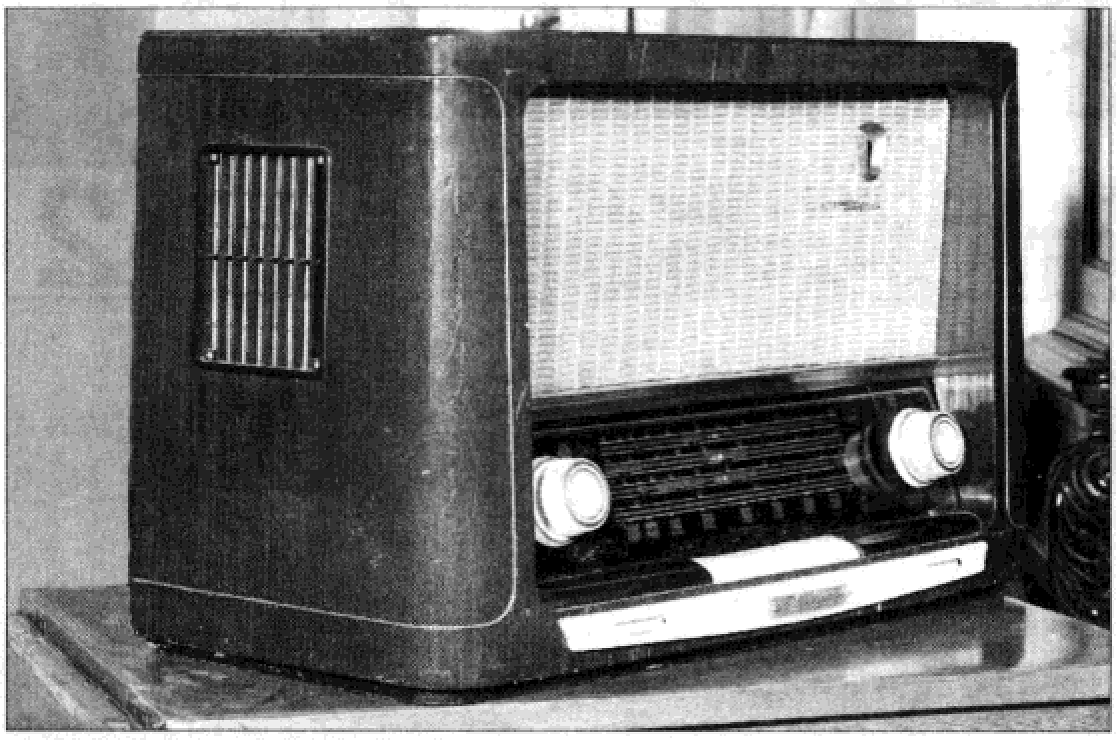


图2 1958年面市的131型收音机（第一版本）

图3 老式51型扬声器

图4 新式51型扬声器

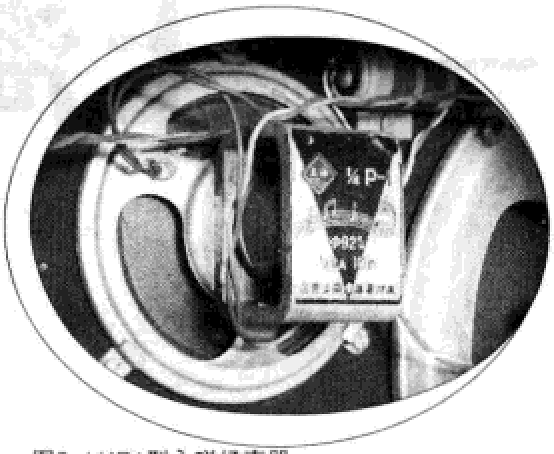


图5 1/4P1型永磁扬声器

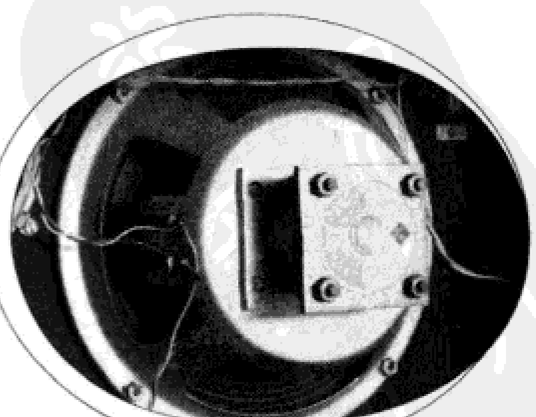


图6 3P1型永磁扬声器

20世纪50年代末，国家收音机生产的方针是抓两头：既要生产大量物美价廉，人民群众买得起的普及机，又要制造出世界上最好的收音机。为此，在相关政策上也采取了截然不同的标准。对于前者，能省则省，尽量降低成本；对于后者，则不惜工本，全力打造精品，力求赶超世界先进水平。回望20世纪50年代后期，虽然出现过冒进、浮夸和不切实际的错误倾向，但收音机工业的跃进式发展，却是实实在在的：1952年我国生产出5管收音机的全套电子管，1953年生产出第一台全国产化的收音机。此后，我们仅用六七年的时间，做了欧美资本主义国家几十年才能做到的事情。

当时生产的上海、牡丹、熊猫牌高级收音机，从电声性能和外观造型上，都瞄准了欧美同级别的收音机。但在外观方面，北京牡丹机与南京熊猫机更具民族特色。曾经的十里洋场上海，则对德国收音机的造型情有独

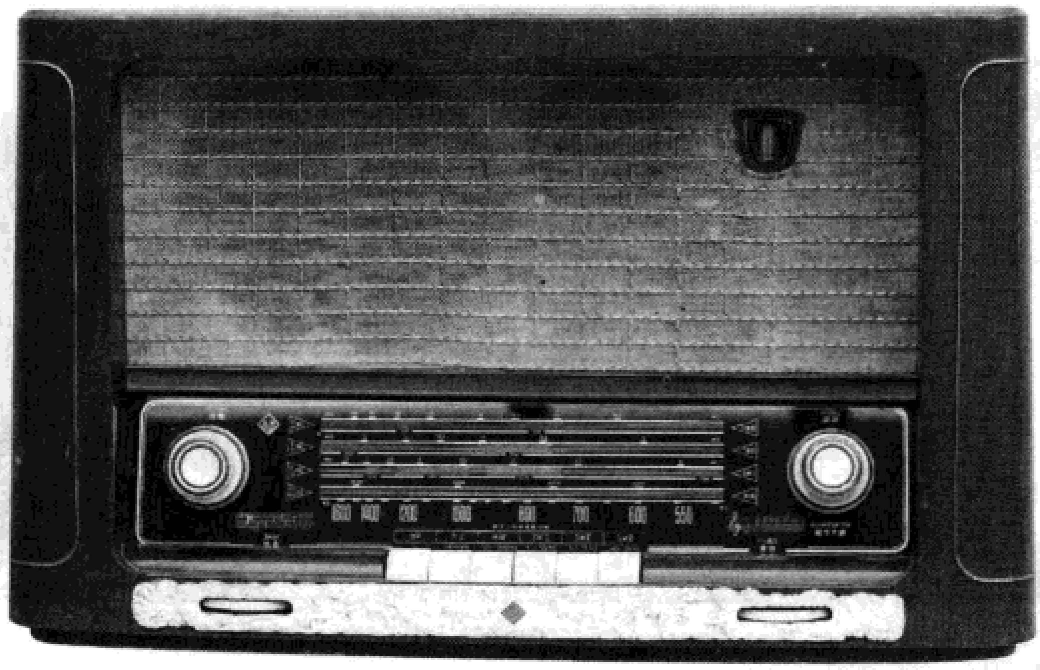


图7 1959年生产的建国十周年纪念版131型收音机（第二版本）

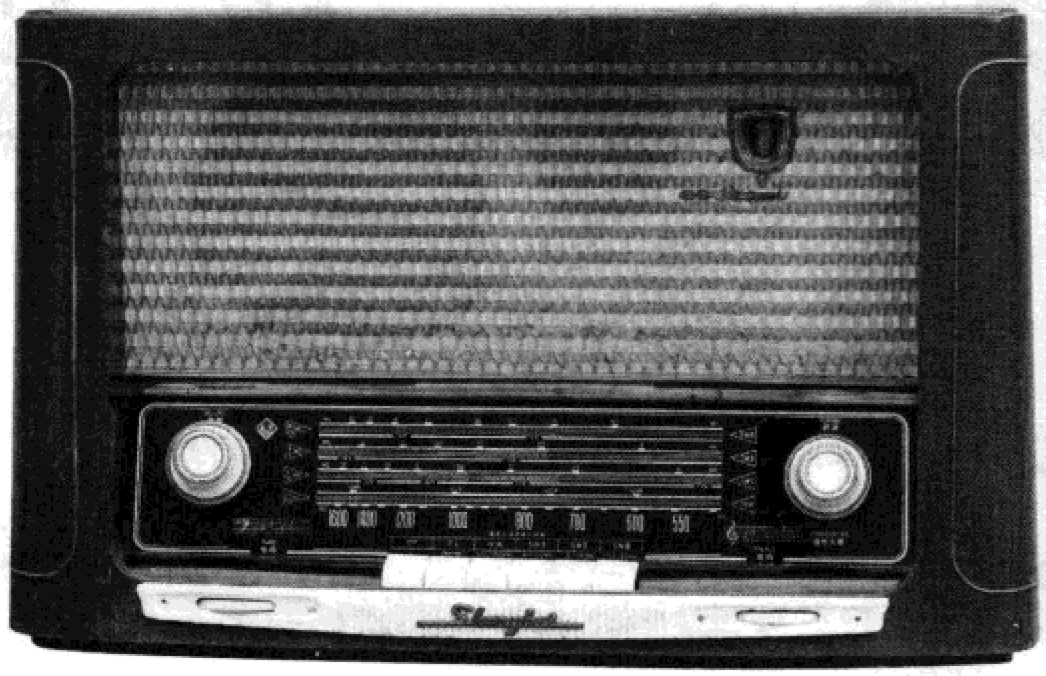


图8 厂标为浮雕字的131型收音机（第三版本）

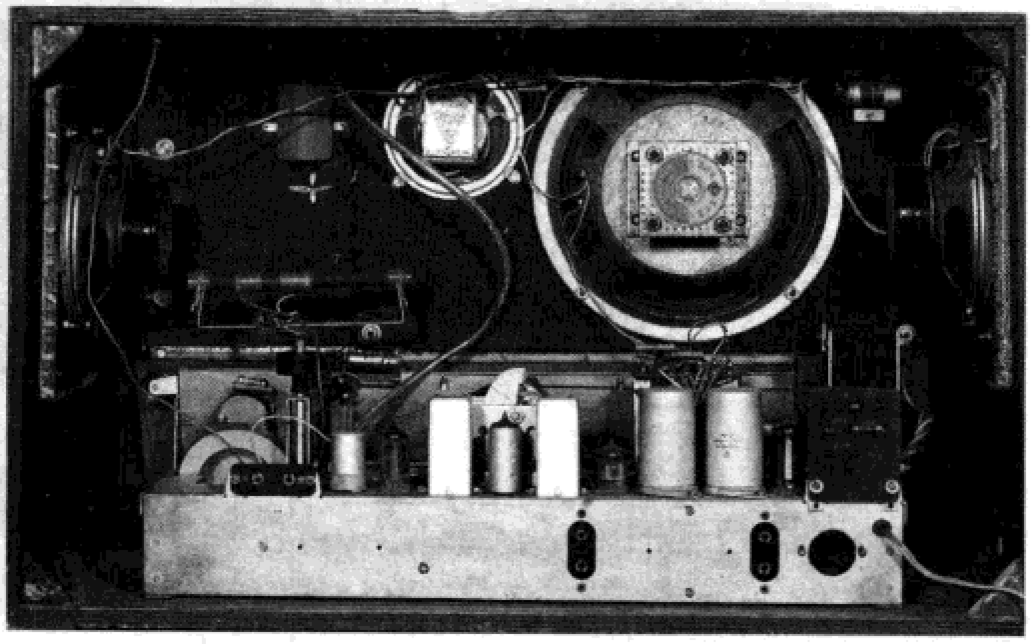


图9 内部结构

钟。131型收音机 “是参照苏联、荷兰以及西德等最新产品设计的”（《无线电》1958年第9期）。经反复考查，我们发现，从外观看，德国生产的根德2035型电子管收音机（图1）是上海131型收音机（图2）的原型机。对照图片可以看出，根德2035与上海131的造型极为相似，只是前者的侧喇叭窗，因使用椭圆形扬声器而更加细长而已。

上海131型收音机的外观造型虽以根德2035为蓝本，甚至是基本照搬，但在电路设计、元器件选用等方面，除没有调频波段外，131型收音机在一些方面还胜过了根德2035。例如：131型收音机比根德2035多了一只电子管，增加了中波磁性天线和一只92mm的小口径扬声器（共使用4只扬声器）。另外，131型收音机的整机尺寸为59cm×39cm×27cm，略大于根德2035的55cm×37cm×23cm，但131型收音机的重量为15kg，比根德2035整整超出了4kg。收音机的重量虽不是判定性能与质量的绝对标准，但也应该是一个重要的参考因素。

对比试听，由于周边环境的原因，根德2035中波调制交流声较大，调频接收正常，低频输出正常。在同样的环境下，131型收音机中、短波及低频输出状态俱佳，中波高低端灵敏度均衡，交流声低不可闻，抗干扰性能优于根德2035。因131型收音机的机箱大、主扬声器的有效口径大等原因，其声频输出的震撼力略胜于根德2035。但根德2035的声音更富于弹性，高、低音调谐的范围与平滑度，两者持平。根德2035和131型收音机的频率调谐机构基本相同，都配置了大尺寸飞轮，但后者的手感要好于前者。加之131型收音机的调谐走线行程大于根德2035，因此131型收音机在调台时更加精细便利。

需要指出的是，上海131型收音机音质较好的一个重要原因就是该机使用了上广电自行研制的高质量扬声器。上海广播器材厂至少在1953年（当时厂名为上海人民广播器材厂）就开始了扬声器的生产，并用在1954年出品的131型系列3管再生式收音机上（图3所示的是老式51型扬声器，图4所示的是根德1955年后的用新式51型扬声器）。由于51型扬声器的质量较好，还被其他收音机制造厂选用，如重庆无线电厂著名的125系列直流机，就使用了该种扬声器。南京无线电厂不少型号的熊猫收音机也装置了2F1等上广电生产的扬声器。在1958年举办的全国第一届广播收音机观摩评比活动中，上广电的扬声器因“频率响应好”被表彰。1958年起，大直径磁铁的恒磁性瓷扬声器逐渐取代了小直径磁铁的永磁扬声器，然而100mm以下和200mm以上的扬声器因各种原因，尚未更改。早期的131型收音机，以及上海532收音机使用的202mm和300mm扬声器，都还是永磁式的。但131型收音机面市不久，上广电202mm的恒磁性瓷扬声器便生产出来并投入使用（即3F1）。在型号的命名上，永磁的字母为P，恒磁的字母为

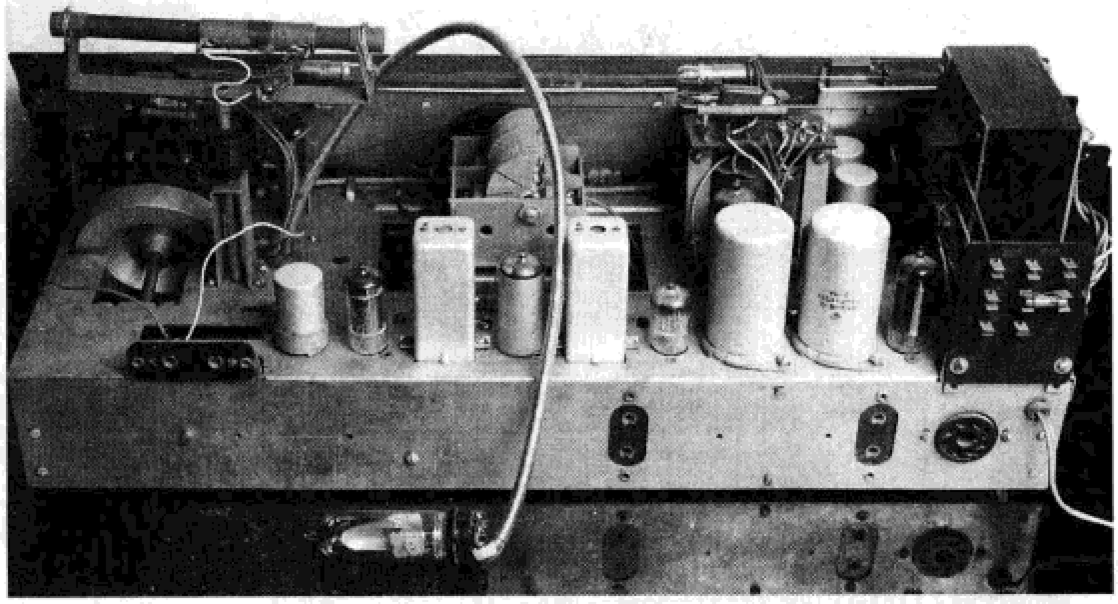


图10 整个机芯后视图

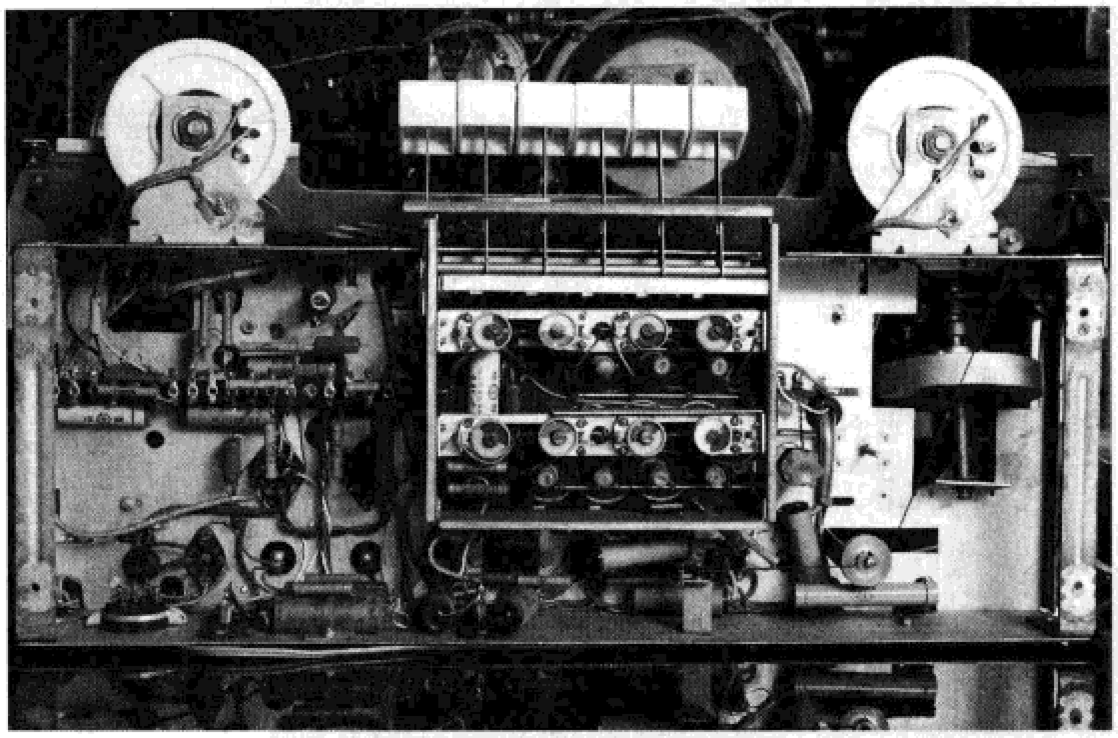


图11 机芯的底盘下

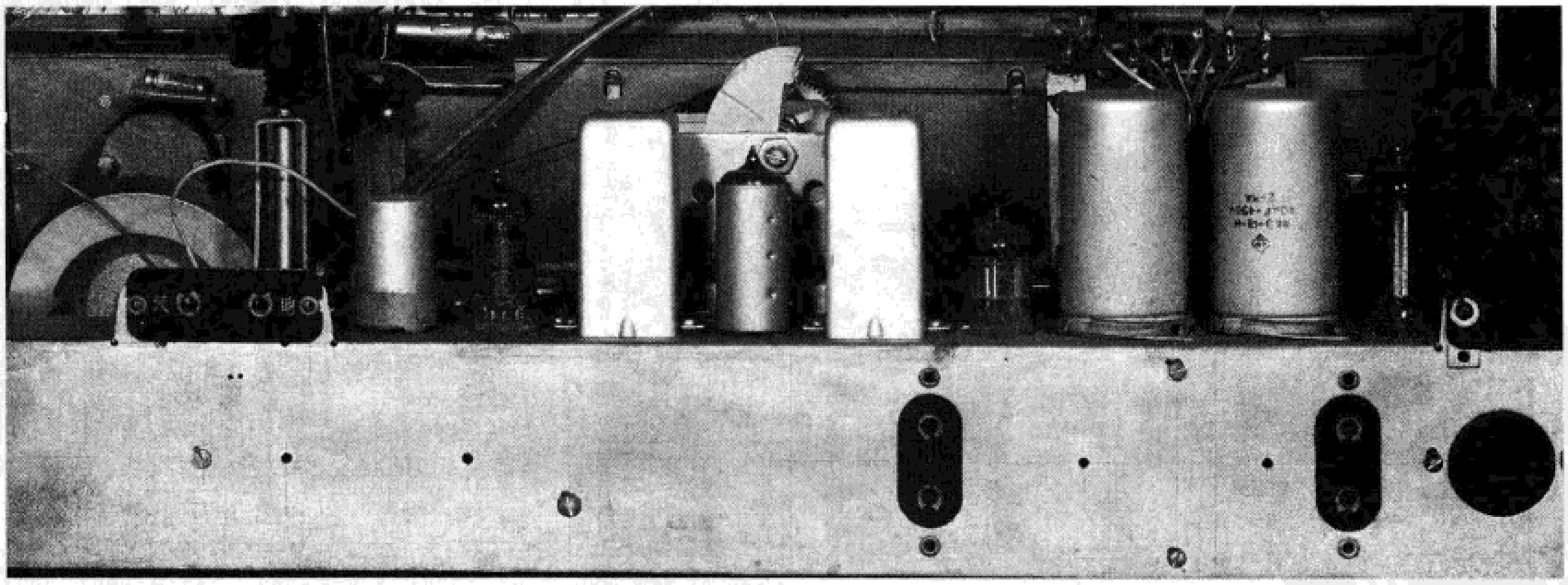


图12 131收音机的试制品（上有设计构图线）

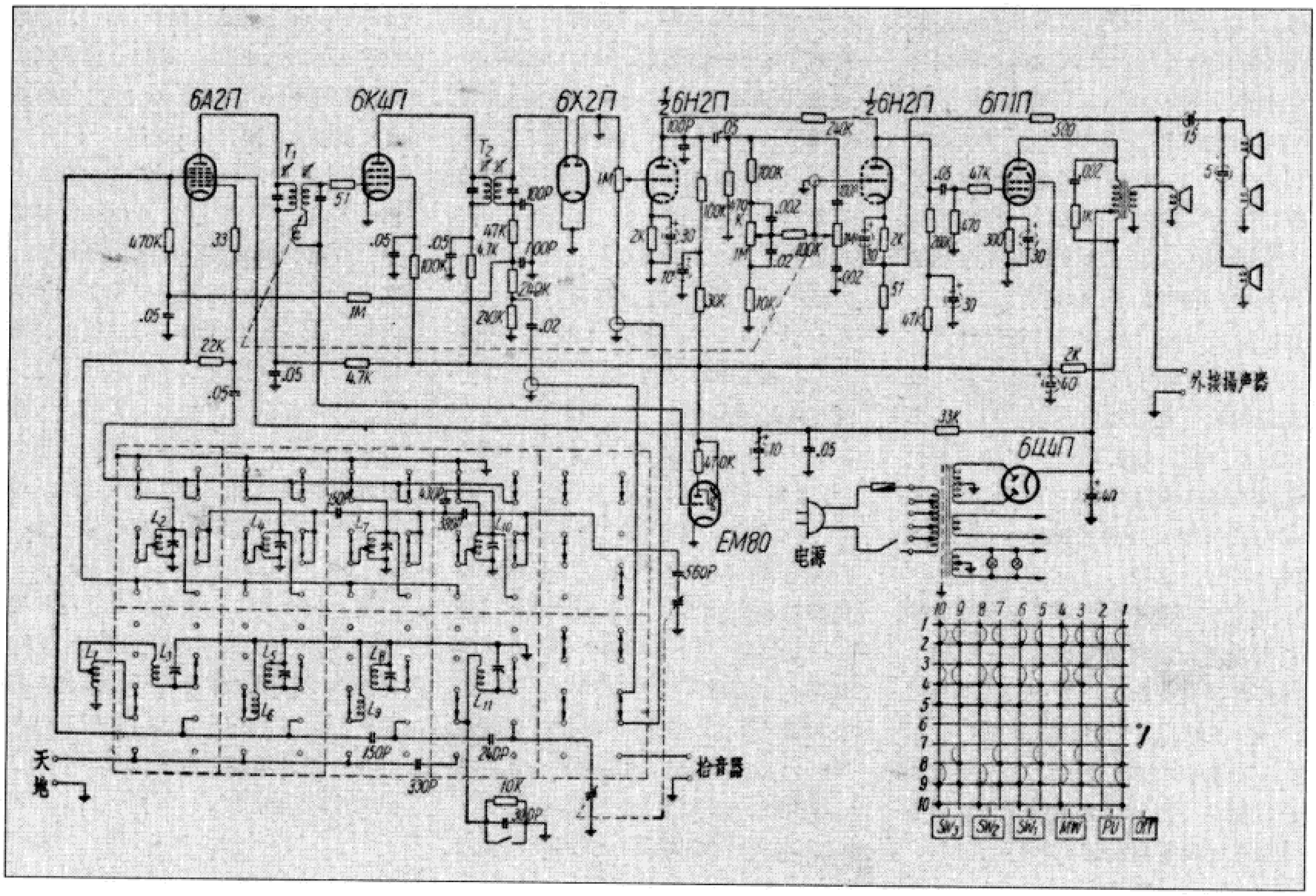


图13 原厂电路图

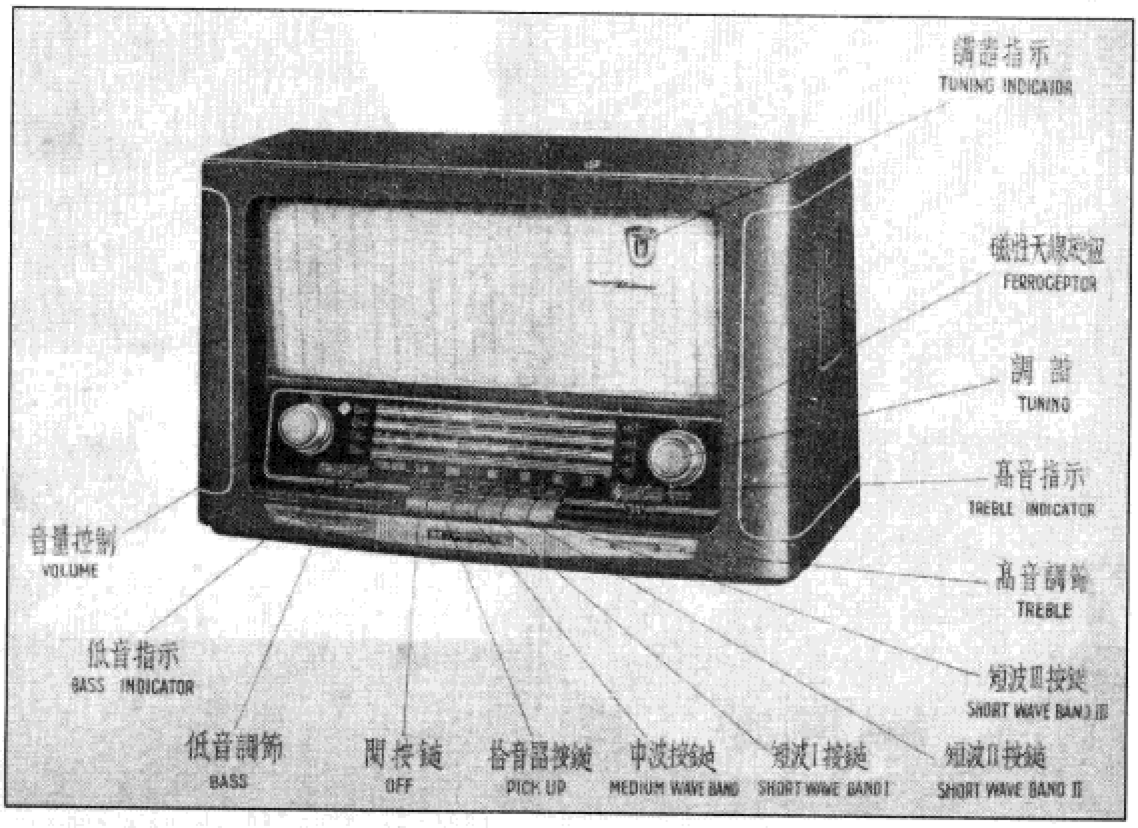


图14 随机附带的说明书

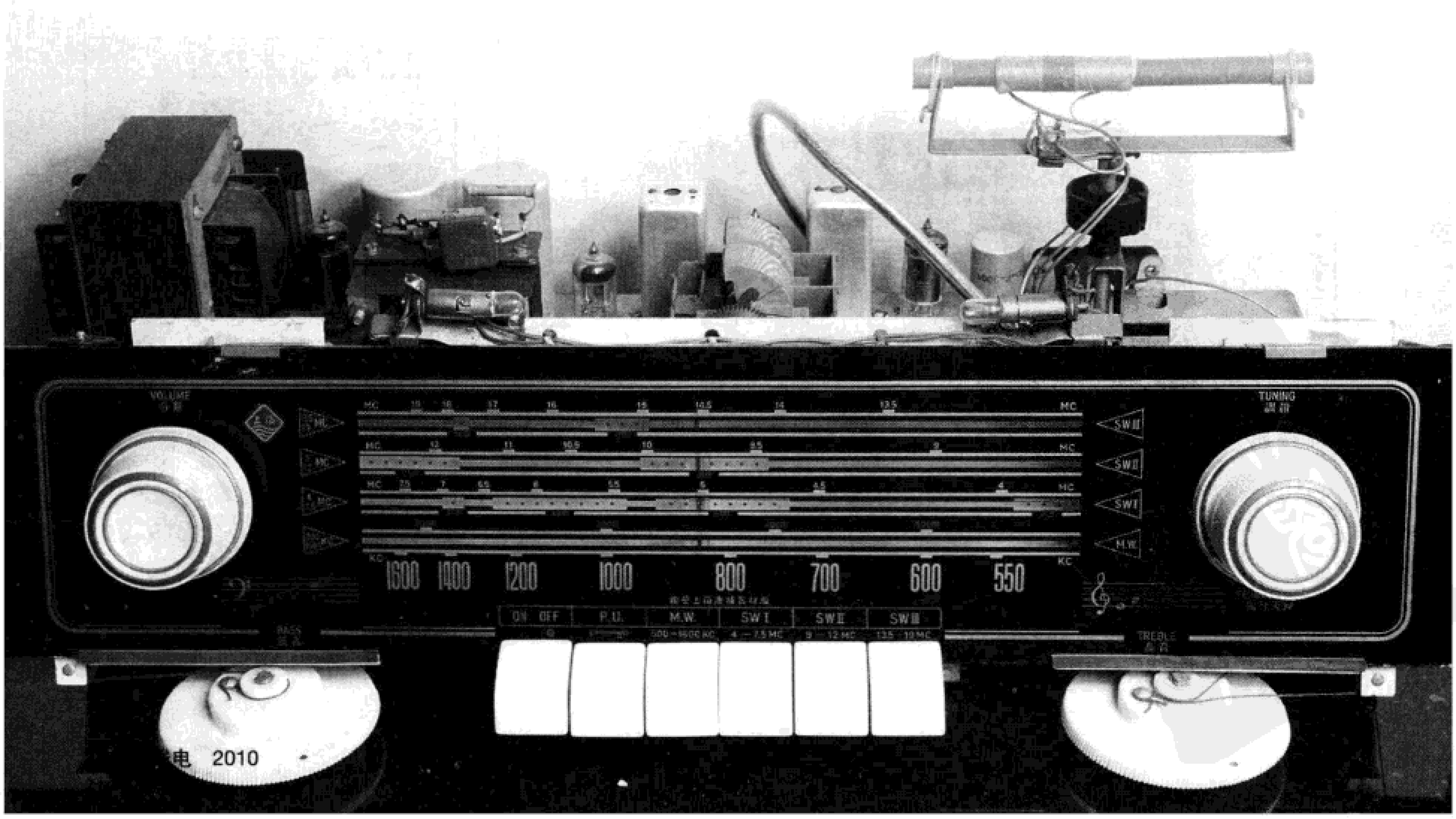
图15

F。如以上所介绍的131型收音机，使用的202mm、92mm永磁扬声器型号分别是3P1和1/4P1，两侧配置的则是124mm恒磁的1F1。国产大型收音机很少使用100mm以下的准高音扬声器（图5），唯有上广电的131型等机器曾经装配。作为一款没有调频波段的收音机，频率响应不会高于7000 Hz，因此，124mm的扬声器应该足够了。采用高频响应更好的92mm扬声器，只能证明设计者对理想的追求和不惜工本。不知是否心理作用，131型收音机的高音确实通透明亮，不同凡响。早期131型收音机使用的202mm永磁扬声器（图6）也不多见，因此这两款上广电的扬声器也成为当今爱好者追捧的抢手物件。后者通常被称作“钴磁”扬声器，其实除了历史悠久、产量较少外，性能上不见得比恒磁的好。

上海131型收音机自1958年面市至1965年，至少出现过3个版本。第一个版本还未完全定型（外观见图2），与后两个版本主要的区别有：（1）度盘刻度显示中波频率为500~1600kHz，短波Ⅰ频率为4~7.5MHz，短波Ⅱ频率为9~12MHz，短波Ⅲ频率为13.5~19MHz。后两个版本度盘显示的频率范围则是，中波：520~1600kHz，短波三：14.5~20MHz。（2）琴键下方的厂标为红色，笔画较细。（3）旋钮直径明显比后两种版本的大，而且大、小旋钮的直径差较小，这一点与根德2035旋钮的尺寸比例相似。（4）喇叭布为浅黄色大格，比较接近根德2035喇叭布的色调。第二个版本系1959年建国十周年的纪念版。主要特征是正面下方装饰条采用了双龙戏珠的雕塑图案（图7）。第三个版本（图8）的机器正下方装饰条上的厂标为字体较大的浮雕字。1960年后，3P1型扬声器改为3F1型的，喇叭布变为深色调、小菱形图案。这种喇叭布此后被上海132、133型收音机继续沿用。

本文所示的是第一种版本131型收音机的内部结构图（图9～图12），后两种版本基本相同，同时给出原厂的电路图（图13）及第一版上海131型收音机说明书（图14、图15）。

上海131型收音机的3个版本，第一种由于尚未定型，因此数量最少，收藏价值极高。笔者所藏该机，底板上开孔之处留有不少手工刻画的规矩线，高低音的调谐方向因电位器接反，均被倒置（从各焊点封漆完好看，不应是后人改动），大概为试制阶段的工程机芯。第二种版本造型华贵兼具民族风情，可谓中西合璧，相得益彰，也有较高的收藏价值。惟有第三种，不仅存世量大，后期产品的配置也被改动，如将瓷介半可变电容器换成胶木的，3F1扬声器替代了3P1扬声器，还有一些元件干脆就省略掉了。总之，1958－1959年的产品用料纯正，做工精细，数量较少，应为收藏之首选。



宝刀不老的ZENITH电子管收音机

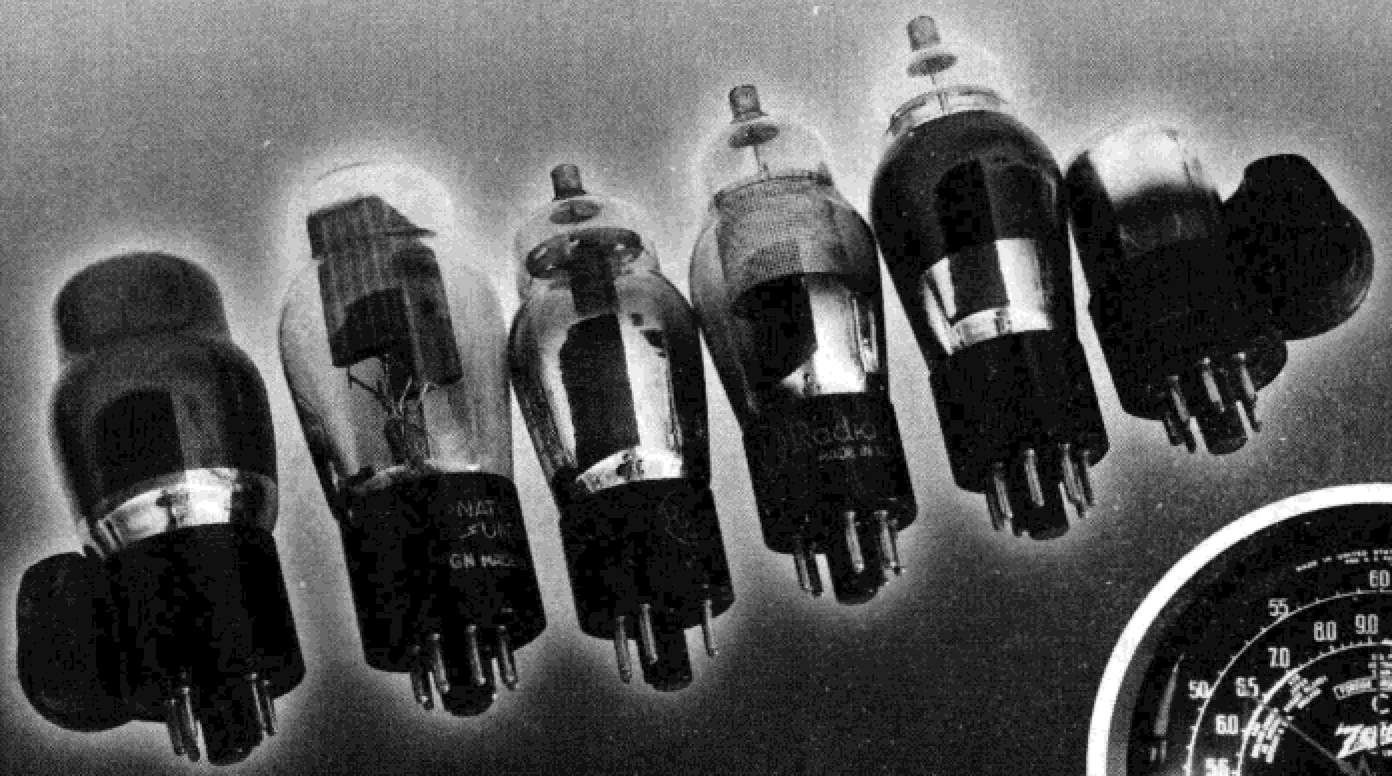
◎陈祖德

美国一流收音机生产商ZENITH公司生产的大度盘调谐样式的收音机，非常吸引收藏爱好者的眼球。它代表了那个时代收音机的设计和生产水平，是收音机发展的一个里程碑。

ZENITH公司从1935年—1941年所生产的电子管收音机都是圆形度盘调谐样式，从落地式机到台式机，所用的电子管从5管到15管都有，6年间生产了60多款不同型号的机器。

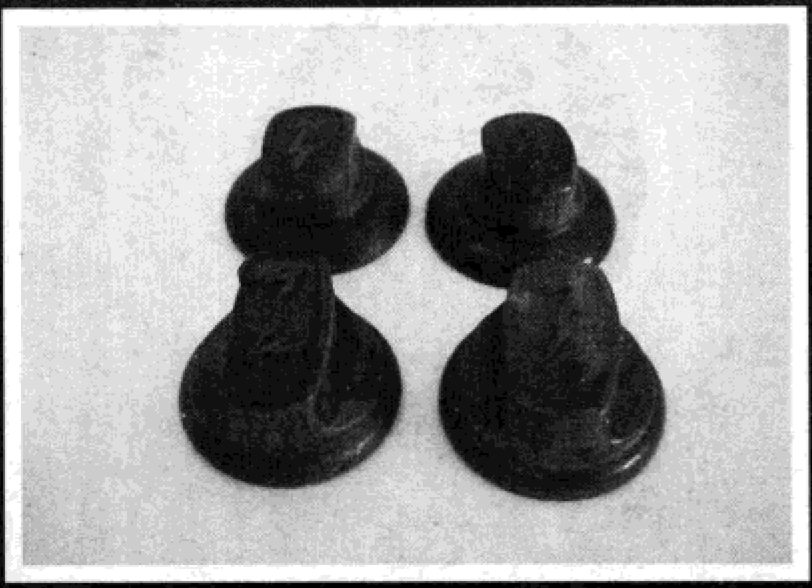
我收藏的这台ZENITH 6-S-222型号的收音机来自于美国，当时花费了200多美元。这是1938年生产的台式机，在国外被称为“CUBE”（立方）。这款机器的外形在当时可算是与众不同，机壳是呈立方体样，大大的圆形调谐度盘占据了机器前脸的大部分区域，机器前面的4个旋钮分别是音量、音调、调谐、

收音机的喇叭窗

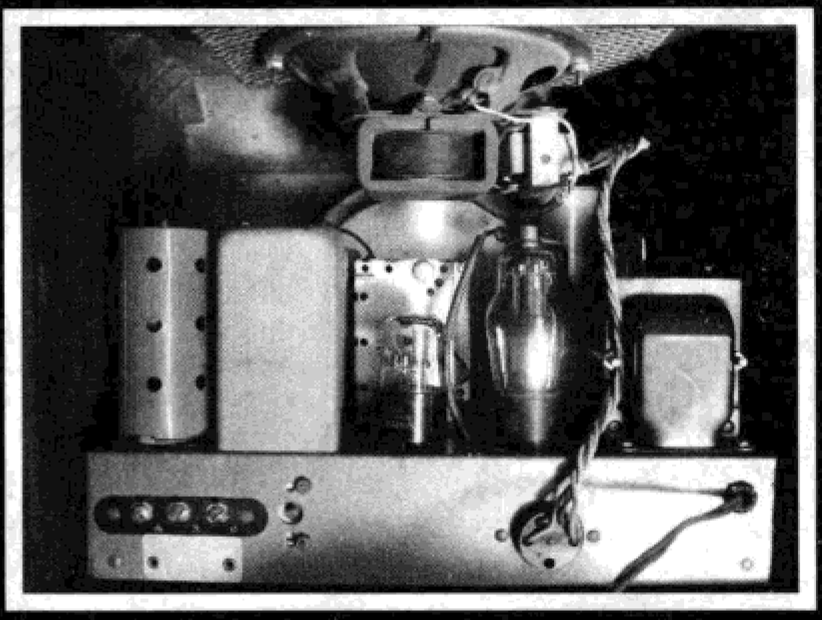


收音机的6个电子管：6F6G、5Y4G、6F5G、6K7G、6A8G、6H6G

收音机的调谐度盘



收音机的4个调谐旋钮



收音机的内部结构

波段转换，旋钮的材质是木质的，每个旋钮的上面都刻有一个大大的“Z”字，代表公司的简称，扬声器则布置在机壳的上方，据不完全统计，其中立方体形的收音机仅两款。

该机采用的是超外差式电路，共用了6只电子管（6F6G、5Y4G、6F5G、6K7G、6A8G、6H6G），3个波段，1个中波（550~1700kHz），2个短波（短波Ⅰ：1.8~5.5MHz，短波Ⅱ：5.6~18MHz），扬声器则用的是8英寸励磁。

我拿到这款机器后，只更换了几个漏电的电容器，其余都没有问题。开机后，温暖的黄色度盘立刻亮了，接上天线，待管子烧热，把中波调到常听的北京828 kHz，美妙的声音立刻从扬声器中传出，别看机器的年龄已近古稀（70年了），但它发出的声音却还是那么圆润动听，无论是听音乐还是新闻，声音都无可挑剔，可以看出70年前电子管和扬声器的生产水平还是相当可靠的。现在美国“ebay”上这款机器已经拍到1000多美元了。

每当客人到我家，我都会让这台机器在客人面前亮相和表演，让他们欣赏。第一个拥有这台1938年面市的收音机的主人估计已经不在人世间了，他也许没想到，他曾拥有的这台收音机却仍然“宝刀不老”地工作着。

对飞利浦MCM138D微型组合音响进行摩机

◎吴红奎

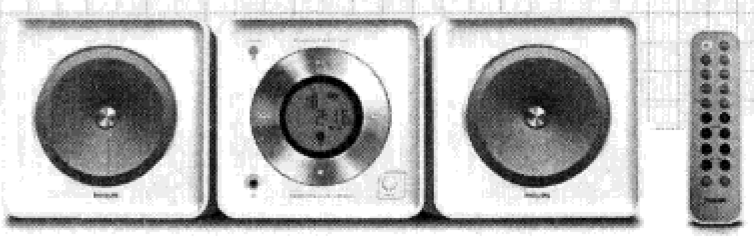


图1 MCM138D有着漂亮的工业设计

飞利浦（Philips Consumer Electronics B.V.，飞利浦消费电子有限公司）的微型组合音响（床头音响）MCM138D有两个型号：MCM138D/93、MCM138D/98，它们的外观与内部电路是相同的，不同之处是市电输入电压不同，“MCM138D /98”适用于220V市电的地区，“MCM138D /93”适用于115/110V电压的地区，当然还有50/60Hz的区别。MCM138D的基本功能是CD播放、AM/FM收音、iPod输入与控制，标称输出功率为2W×2（实际上要高一些），扬声器是3.5英寸的。音箱为倒相式设计，倒相孔位于背部，因此音箱不宜靠近墙或者其他板状障碍物，但是对于床头音响或者客厅的微型组合音响而言，有时恰恰需要这样摆放的。这款微型组合音响的外观还是不错的，有着良好的工业设计，如图1所示。但它的内部却不好恭维，已经看不到昔日电子巨人的影子。

MCM138D整机电路框图如图2所示，CD部分是SANYO（三洋）的整套家当，机芯是常见的DA11B3VF，单片解码伺服，图中的伺服指的是伺服输出，即控制机芯电机工作的，控制信号还是来自单片解码伺服IC。当然我们不能指望这样的机器会用上Philips自家知名的CD-Pro2或者SONY（索尼）知名的213激光头与配套的机芯了，这样的微型组合恐怕也装不下。独立的DAC（Digital Analog Converter：模数转换器）与缓冲放大电路虽然不算是望族（有些MP3都用双芯片了，数字模拟大致分开），不过那也不是必需的。收音部分是单片方案，这倒不足为奇，奇怪的是这个单片收音IC非常少见，其实Philips自家的TEA5711就很不错嘛。功放的方案与收音部分如出一辙，单片功放IC也很少见并且是SANYO的产品，用Philips自家经典的TDA1517该多好啊。耳机放大部分虽然是常见的4558，但是也太普通了，Philips同样有自家经典的TAD1308可用。虽然TDA1517、TAD1308曾经比较贵，不过到MCM138D上市的时候，其价格已经是“白菜”价了。

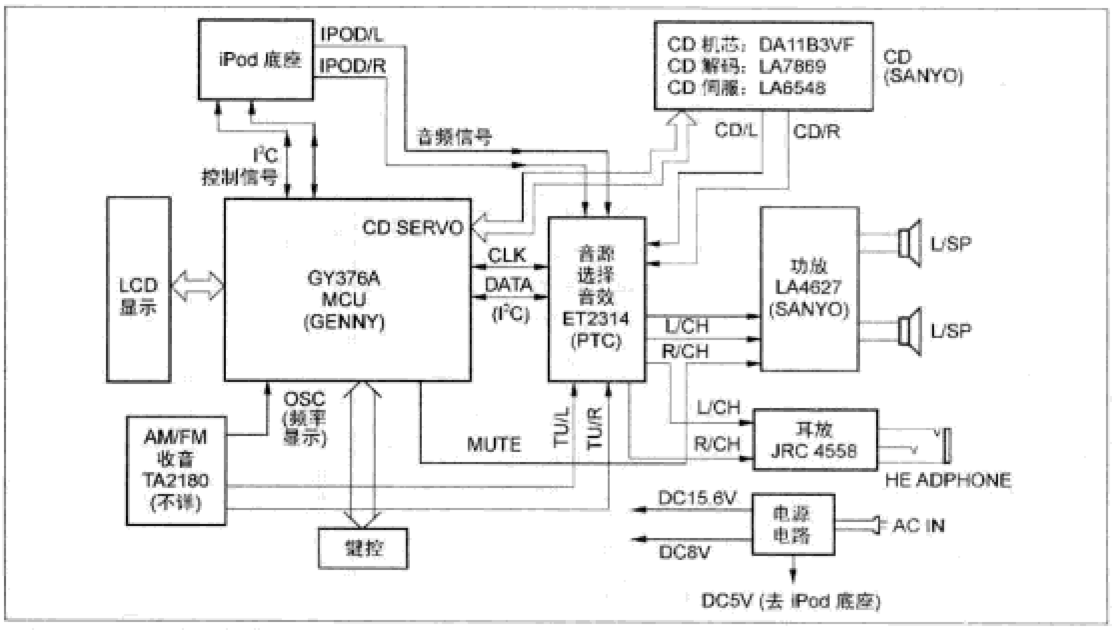


图2 MCM138D的系统框图

总的来说，整体设计除了一些偏冷门的IC以外，算是中规中矩，没有明显的亮点，比较遗憾的是，在Philips的产品中，几乎看不到Philips牌子的元器件，电路设计及生产水准已无昔日的Philips风格，歪七扭八的电容似乎更有一些“山寨”之风，整机的实际表现是底噪偏大，当切换不同音源时的音量变化也比较大。这样一套微型音响，让人很难相信是“Philips”的产品。

收音机手调数显功能的实现

MCM138D收音部分采用了单片收音IC，型号是TA2180FNG，疑似是TOIHBA（东芝）的产品，但是查不到官方信息。这片IC的实际应用也很少，内部电路框图如图3所示，与一般常见的单片AM/FM收音IC并无太大不同，没有调谐指示但是有立体声指示，典型的供电电压为8V，应该不是针对一般便携式收音机设计的单片收音IC。

MCM138D的收音部分采用的是传统的手动调谐，即用四联可变电容进行选台的方式。有点新鲜的是，调谐指示是数字式的，用数字来指示当前

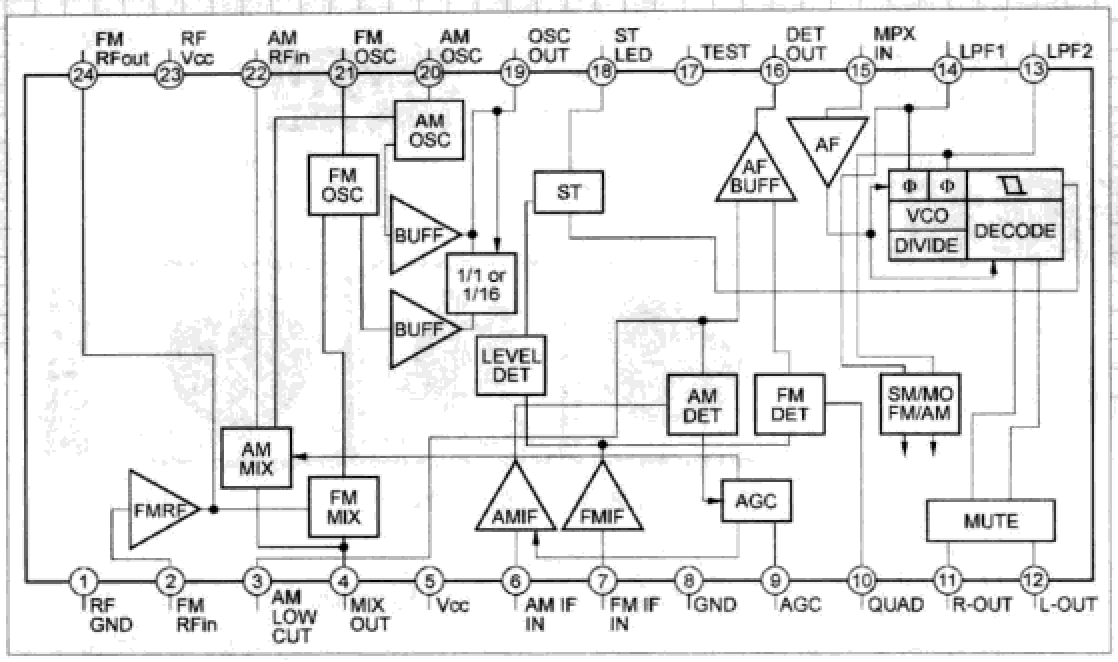


图3 TA2180的内部电路框图

接收频率。另外，实现调谐也没有采用常见的拉线方式，调谐手轮通过3级齿轮与四联电容相连。因此MCM138D虽然具备遥控器，但是只能进行音源切换，不能换台，这不知道Philips的设计团队是怎么想的。整机是通过单片机控制的，单片机已经有了，只需要增加一片锁相环电路，就可以实现数字调谐，调谐手轮+齿轮组+四联会比数字调谐省多少钱呢？关键是浪费了遥控器与LCD显示屏。

手动调谐数字显示是通过单片机从收音电路读取振荡信号的频率实现的。MCM138D的收音电路原理图如图4所示。

图4中，收音电路的振荡信号从TA2180的19脚输出，经VT206缓冲隔离、放大后送到单片机，读取频率后显示到LCD显示屏上。其原理是利用超外差式接收机振荡器的频率、中频、接收的射频信号之间的关系来进行换算，对于图4所示的一次变频收音电路而言，AM的中频是455kHz，FM的中频是10.7MHz，根据“振荡信号频率－射频信号的频率＝中频信号的频率”这一关系式不难得出射频信号（广播信号）的频率。

图4中，与TA2180的典型应用电路相比，增加了由结型场效应管VT201组

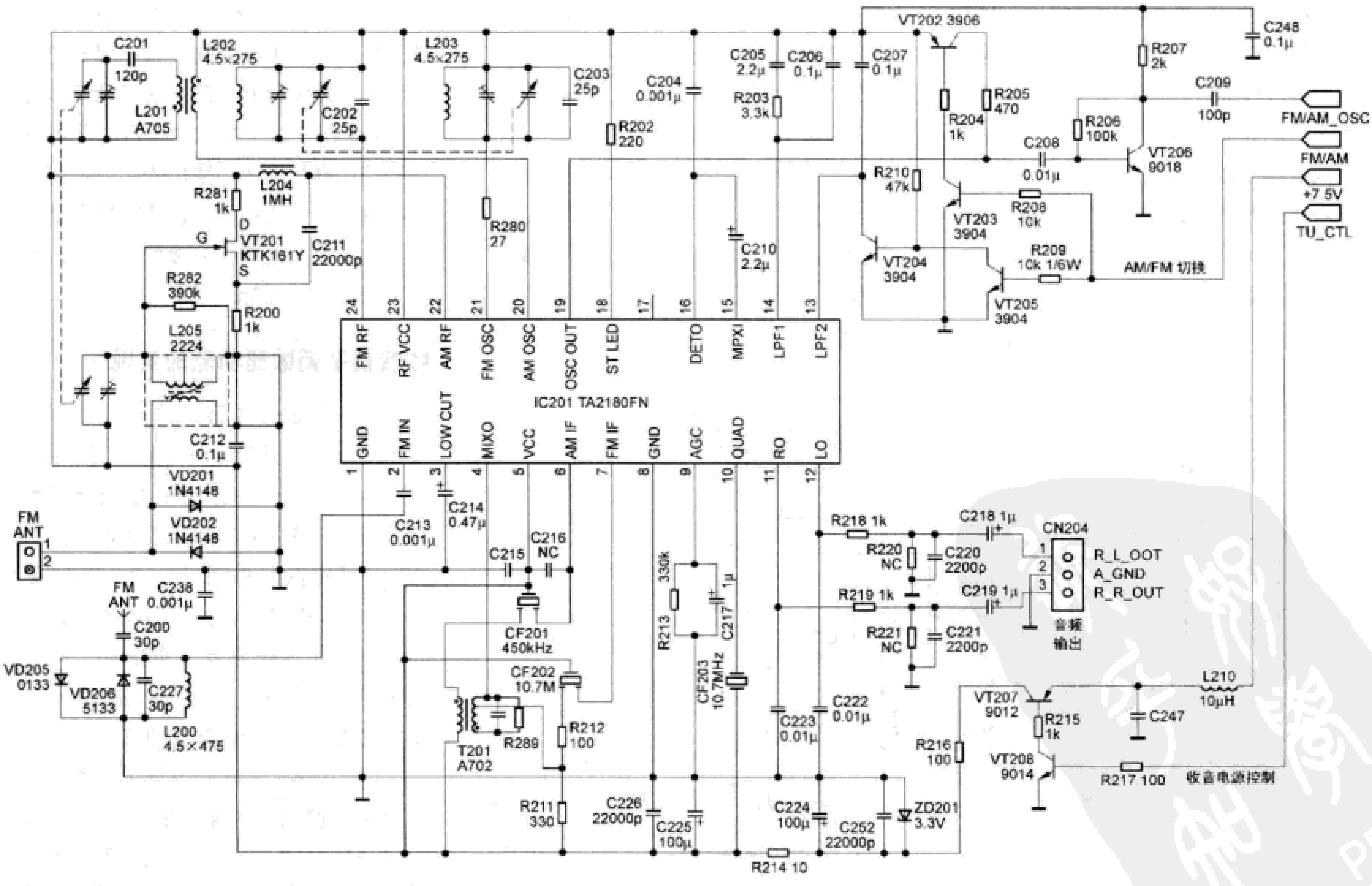


图4 MCM138D的收音电路

成的AM高放电路，同时VT201组成的放大电路还起到有源高频阻抗变换的作用。因为MCM138D的AM收音部分没有采用常见的高阻抗磁棒天线，而是框形低阻抗天线，在日益复杂的电磁环境下有利于提高抗干扰的能力，但是接收灵敏度会受到一定的影响。

MCM138D没有设置立体声解码指示功能，所以TA2108的18脚就直接通过R202置为高电平了，如果将这个引脚的信号输出到单片机，很容易实现立体声解码指示功能，这里闲置了。其他部分与一般的收音电路很相似，这里不再赘述。

收音部分的小改

MCM138D的FM天线是拖在背部的一条塑料外皮的软导线，而不是常见的拉杆天线，Philips真是省到家了。但是对于这样的微型组合音响而言，拖着这样一条1.5m左右的导线，既不好看，搬动时也不方便，于是就有了改动的想法。收音电路与前面板上的控制显示电路位于同一块电路板上，MCM138D的前面板几乎是正方形的，将FM天线拖线从背部去掉（去掉从背部到收音板的连线），将拖线直接焊接在FM天线输入端，然后将拖线盘绕在方形面板的背部，不要闭合，只是来回绕，大约3个来回就绕完了，实际电路板如图5所示，箭头所指就是盘绕好的白色天线拖线。图中左上角是，MCM138D所用单片机的特写，图中的GY376A是森洋软件技术开发（深圳）有限公司的产品，有些型号用的是GY368，两者的详细区别不清楚，至于该公司单片机软件的设计者还是单片机的硬件的设计制造者，也不甚清楚。至于AM部分，现在很少使用，就不管它了。

功放部分的摩机

MCM138D整机的电路设计可谓是

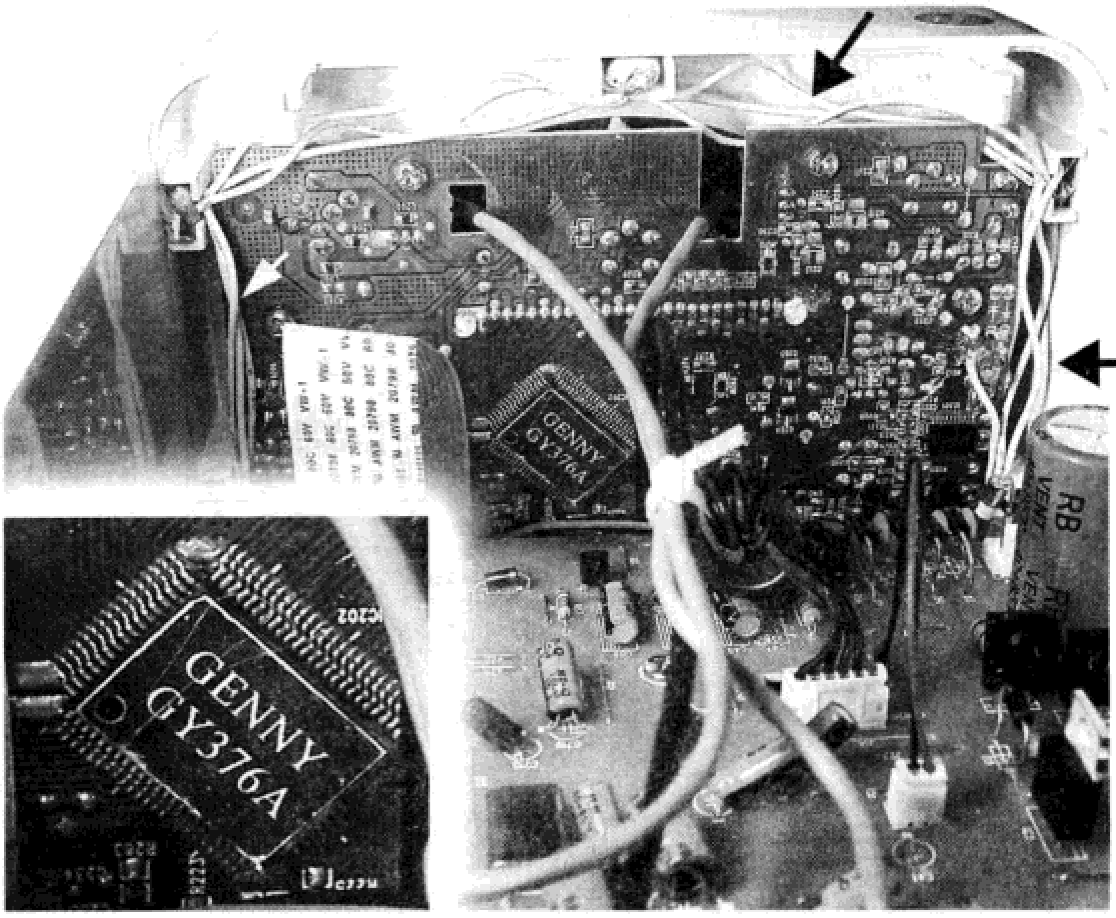


图5 将FM天线由机外改到机内的方法（箭头所指）

平淡无奇，中规中矩。功放部分采用了SANYO的LA4627，同样是一个很不常见的双声道功放IC，集成了待机控制与过热保护功能，自带小型散热片，但是仍然需要外加独立的散热器。不知道这样做是否真的比TDA1517便宜，TDA1517有6W的功率输出能力但是不需要独立的散热片。

MCM138D实际的功放电路如图6

LA4627 的主要技术规格如下：

- 输出功率（*Po*，RMS 功率，V_{CC} = 9V，*THD* = 10%）：2.0 W × 2 (R_L = 4Ω)，2.5 W × 2 (R_L = 3Ω)；
- 总谐波失真（THD，*Po* = 0.33 W）：0.1%；
- 纹波抑制比（SVRR）：45dB；
- 通道分离度：60dB；
- 电压增益（V_G）：45dB；
- 输入阻抗：30kΩ；
- 电源电压供电范围：5 ~ 20V，推荐工作电压：9V；
- 工作状态下的静态电流：30mA，最大70mA；
- 负载阻抗范围：2.7 ~ 8Ω，推荐负载阻抗：3Ω；
- 最大耗散功率（配置有推荐的散热片）：4W；
- 封装形式：DIP-12F。

所示，供电电压实测15.6V，所以它的实际输出功率能力每声道约4W（*THD* = 10%，R_L =8Ω），在这个供电电压下，如果要用非原配的音箱，应该慎用8Ω以下的扬声器。LA4627是固定增益的OTL功放IC，不需要外部反馈电路和设置增益元件，典型应用电路非常简单，MCM138D的设计稍嫌繁复，增加了静音控制电路、电源软关机电路和开关机噪声抑制电路。

C117有抑制开机噪声和延时进入待机状态的作用，但是MCM138D是软关机控制，即插上市电后，整机只是进入待机状态，前级已经进入工作状态。软开机时，功放电路也是处于静音状态，所以C117只是起到延时待机的作用。VT101、VT102是静噪控制管，将功放输入端的信号短路到地，静噪控制信号也同时加到VT106的基极，将VT105关断，LA4627随后也进入待机状态。软关机信号只是将VT105关断，使LA4627进入待机状态。VT104是待机控制电子开关，控制待机控制管VT103的开关。LA4627的待机控制端本身支持单片机电平控制，因此这里的

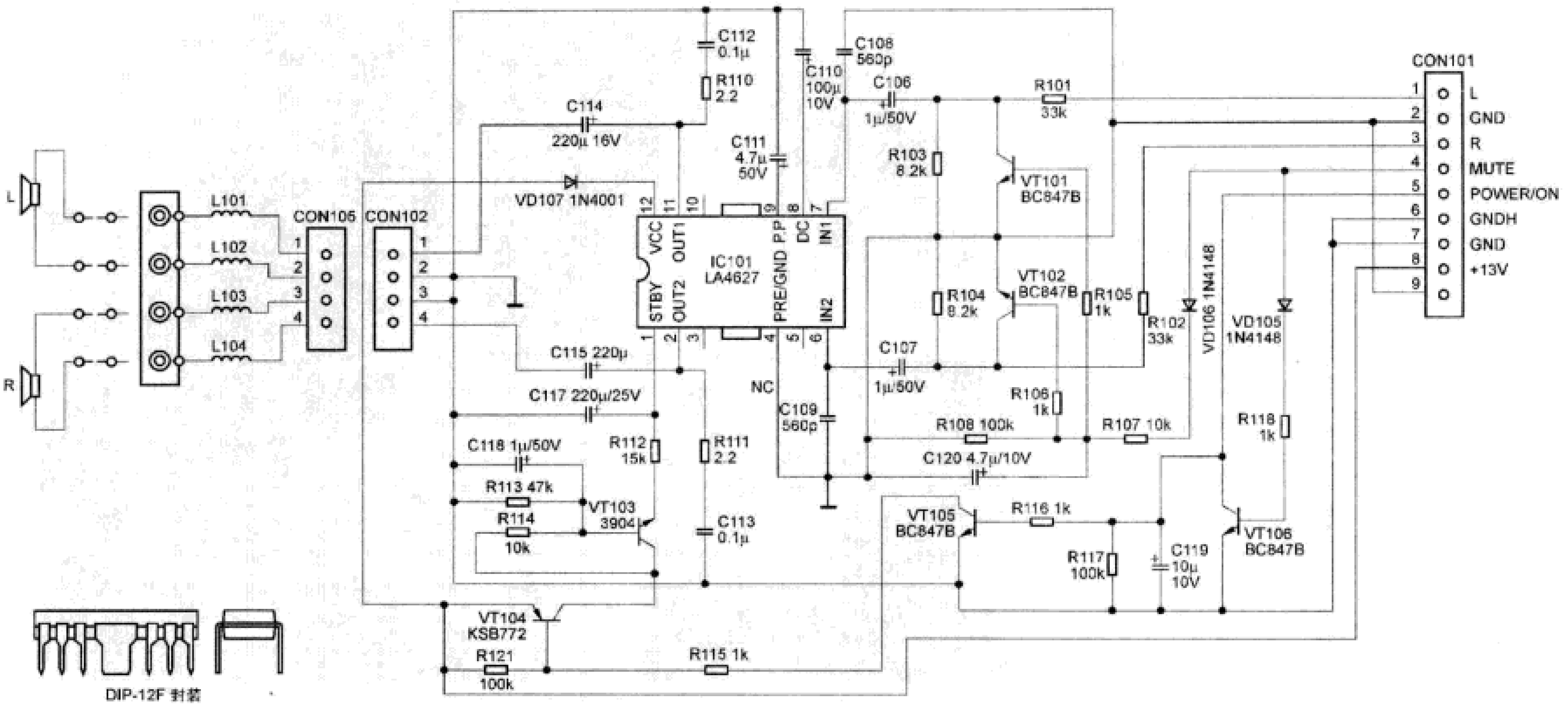


图6 由LA4627组成的功放电路

功能控制电路虽然完善，也相对可靠一些，就是有些繁复。

静态试听时感觉底噪偏大，考虑到供电电压偏高，而LA4627的功耗又不大，于是决定增加一个7812，将LA4627改为稳压的12V供电，既可以降低底噪，又可以提高负载的使用范围并降低失真。因为12V供电条件下，原配的8Ω扬声器刚好可以获得约2W的功率，LA4627就不至于过载。改动的实物如图7所示，将一片STL7812固定到LA4627散热片的一侧边缘上，ST7812的引脚用3根引线引到VD107（见图6，下同）的两端，VD107去掉不用，接地线引到CON101的6、7脚接地端上。这样改动之后，底噪略微地降低，尤其是播放CD时，电机转动的电磁噪声几乎没有了。

让MCM138D能够接收所有MP3的信号

MCM138D配置有iPod适配座，支持iPod输入和基本控制并提供5V的充电电源，不过在MCM138D输入端，控制信号与音频信号是分别输入的，音频信号是常见的3.5mm的耳机插孔，控制信号是9针的小型圆形插口，将控制信号中的设备识别信号置为低电平，MCM138D就会进入工作状态，LCD显示屏也会显示iPod。这时候用一根对录线，就是两端都是3.5mm耳机插头的信号线，将任何一个MP3的信号通过MCM138D背部的3.5mm耳机插孔输入到MCM138D，也可以正常放音。与iPod不同的是，MCM138D不同控制MP3。方法也很简单，用一根粗细适当的短路线插入圆形插口的两个端口即可，位置是从MCM138D的背部看，中间一排右侧的两个。笔者用的是一根0.5W电阻的引线，位置如图8所示，想用iPod时将短路线拔除即可。

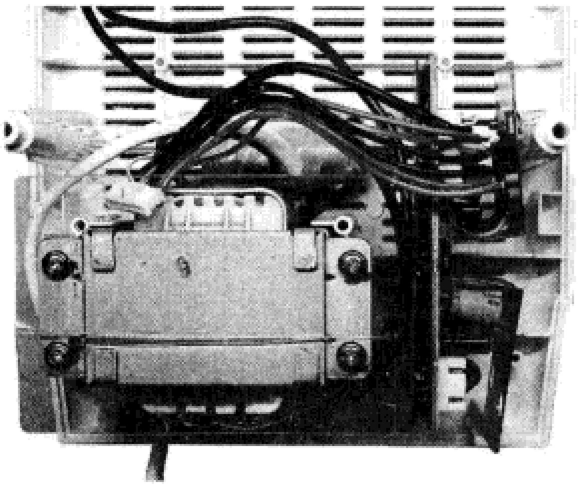
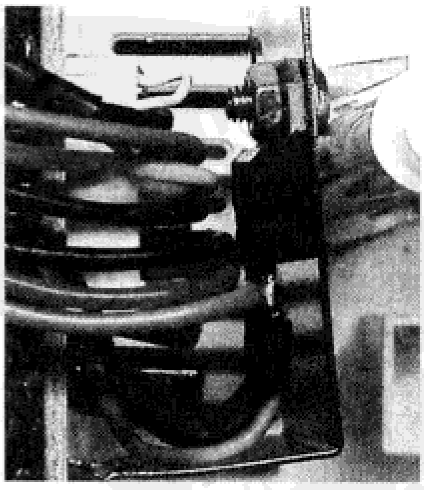


图7 功放部分增加的7812



再摩功放

LA4627的输出功率（RMS）每声道可以达到2W，比我们常见的TDA2822是大多了，不过，对于这套微型音响来说，还是偏小了一些。更为重要的是，THD等音频技术指标以今天的眼光来看有些落伍了，在实际使用过程中，令人难以忍受的是底噪偏

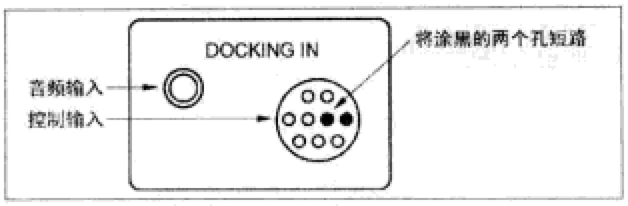


图8 背部的iPod输入端口的改造方法

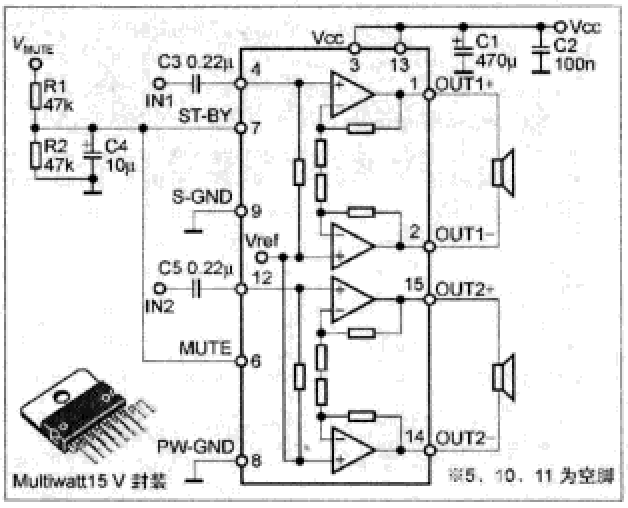


图9 TDA7266的电路原理图

大。在音箱正前方0.5~1m位置，可以明显听到“沙沙”声混着低频“哼”声，而用耳机来听，背景则十分安静。将输入功放板的音频信号暂时断开，功放的底噪听起来并未改善，也说明静态噪声是来自功放的。如果是布线导致的噪声，找起来十分困难，如果是LA4627本身的噪声，再怎么改善布线也无济于事，于是决定将功放部分的电路整体换掉。

本着最大限度利用现有资源的原则，笔者选择了目前微型音箱中常用的TDA7266来换掉LA4627。TDA7266是ST（STMicroelectronics，意法半导体）生产的双声道BTL功放IC，单电源供电，主要技术指标如下，比LA4627优秀不少：

◆ 供电电压范围 3~18V；
◆ 输出功率每声道 7W（8Ω，10%）；
◆ 总谐波失真（THD，P_o = 1W）：0.05%；
◆ 纹波抑制比（SVRR）：56dB；
◆ 通道分离度：60dB；
◆ 电压增益（V_G）：26dB。

更为重要的是，TDA7266的外围应用电路十分简单，几乎可以称得上免外围元件，如图9所示。

改造的方法如下：

1. 将功放板上的LA4627连同散热器一起拆下来，上文中增加的三端稳压器也一同去掉。

2. 将散热器与LA4627分离（如果两者还连在一起的话），然后再在散热器的顶部合适位置打孔（3mm即可）。

3. 用M3的螺丝、螺母将TDA7266固定到散热器上，参考图10。

4. 对照图6和图9，在LA4627原来所用的印制板上的合适位置加装粗细合适的短线，长度能方便地焊接到TDA7266引脚即可。因为是搭棚焊，引线应该柔软、容易弯折。具体方法如下：（1）将图6中的C120和C106改用CBB或者金属化纸介电容，笔者用的是后者，红色的国产品，个头够大，参见图10，C120、C106的负极位置，新换的电容仍然插入印版，正极位置悬空，直接焊接一根引线到TDA7266。（2）将图6中的CON101的2脚接图9中的TDA7266的9脚，CON101的6、7脚接图9中的TDA7266的8脚。（3）装回上文摩机时拆除的、图6中的VD107，但是只把正极引脚装回原来位置，负极悬空，分别引两根引线到TDA7266的3、13脚，同时在VD107的负极搭棚焊接一个470μF的电解电容和一个0.1μF的陶瓷电容，即图9中的C1、C2。0.1μF的电容是贴片形式的，直接跨接到470μF电容的两个引脚的根部位置。（4）对照图6，从LA4627的1脚位置引出V_{MUTE}，连接到图9所示的V_{MUTE}，拆除图6中的C110、C111，为图9中的R1、R2、C4提供安装位置。（5）拆除图6中的C114、C115。两者的负极位置分别引线作为图9中TDA7266的OUT1+、OUT2+；接着从CON101的6、7脚附近的位置分别断开CON102的2、3脚与地线的连接铜箔，然后将图6中的茹贝尔电路中的电阻电容（贴片元件，R110与R111、C112与C113）直接用短路线短接，这样原来的C114、C115的正极位置就与CON102的2、3脚连通了但是与地线是断开的。从C114、C115的正极位置引线，作为TDA7266的OUT1-、OUT2-。

5. 将固定好TDA7266的散热器装回到原来的位置，因为没有了下部LA4627，可以用坏掉的IC或者其他厚度类似的东西垫到下部。

6. 对照图9，将从印制板上的引出线逐一焊接到TDA7266的各个引脚上。

7. 上电试机，如果连接无误，一切OK。

更换功放IC后的实物如图10所示，上电试听的结果是，距离音箱正前方10cm的位置，几乎听不到低频“哼”声，在距离扬声器30cm的位置，“沙沙”声也已经不可闻了。放几首熟悉的音乐试听，声音干净了许多，但是整体上觉得缺乏力度，有俗称的“脚软”的感觉。

仔细分析后感觉应该是推动不足的问题，因为TDA7266的增益比LA4266低很多，于是将图6中的R101、R102调换到R103、R104的位置，R101、R102的位置换成两个1kΩ的电阻。重新上电试听，给人的感觉是脱胎换骨的变化！当然是相对于LA4627而言，不要奢望经此摩机，就会变成一套Hi-Fi系统。功放换“芯”摩机到此结束。

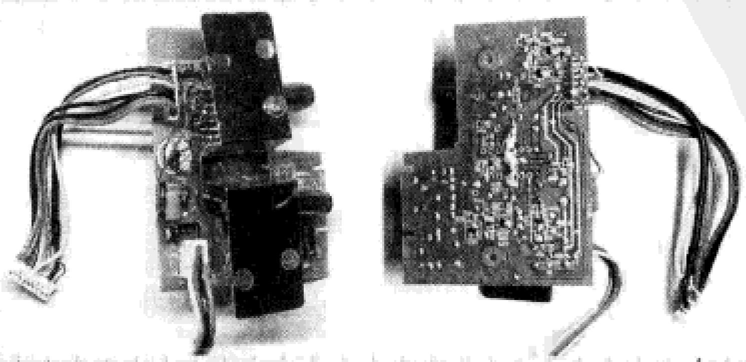
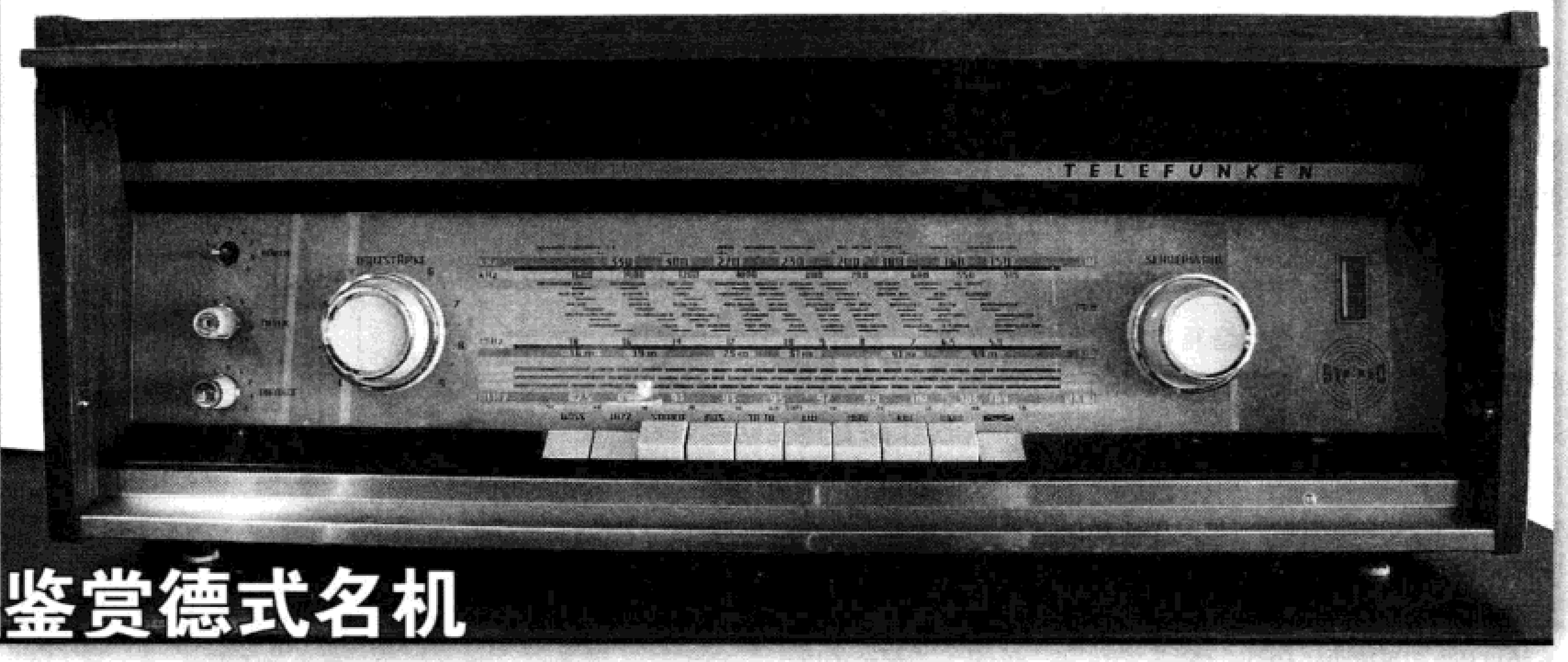


图10 换成TDA7266的功放板

鉴赏与收藏

海外名机

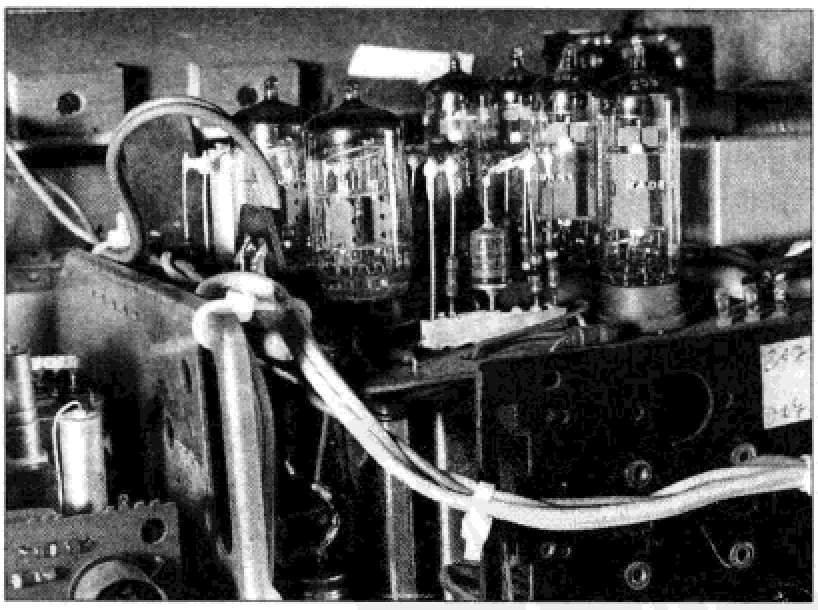


鉴赏德式名机
——TELEFUNKEN（德律风根）
OPUS 2430型电子管收音机

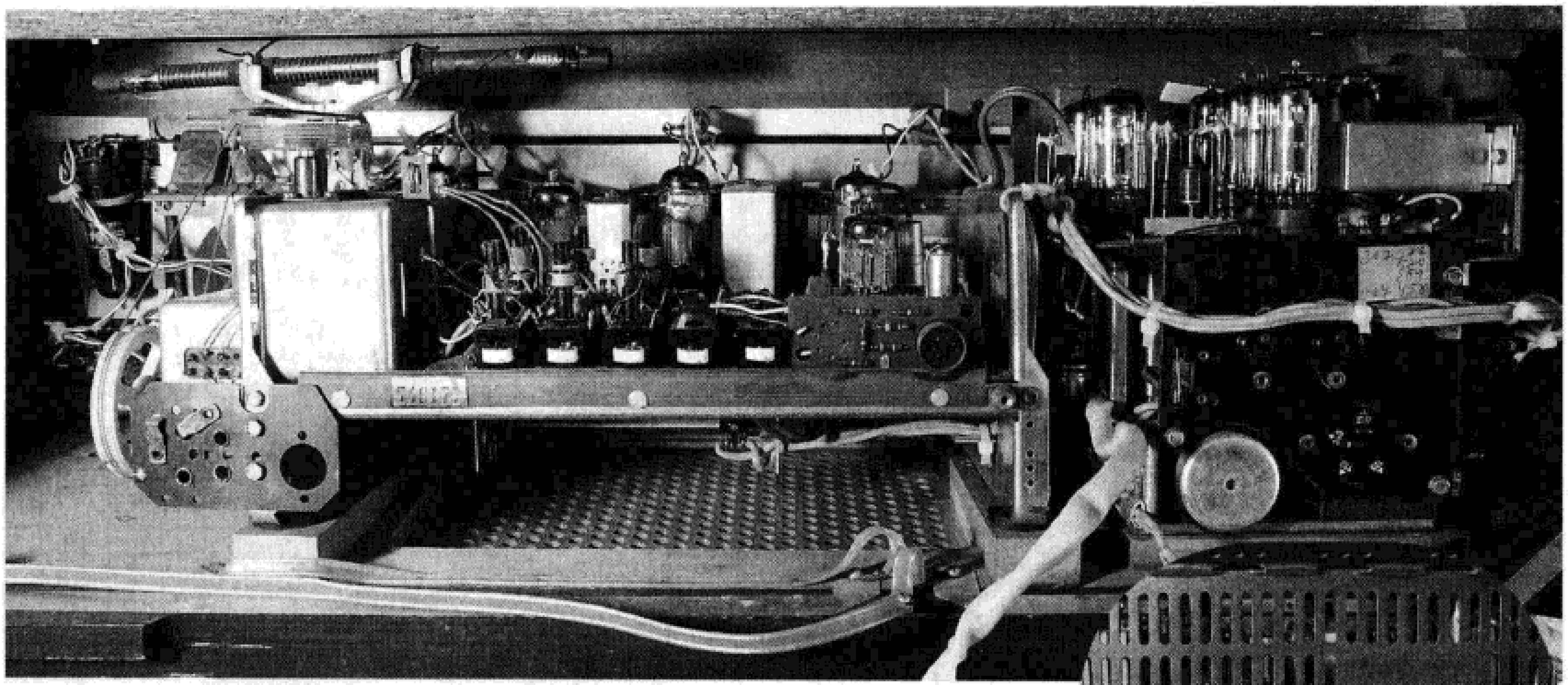
◎陈祖德

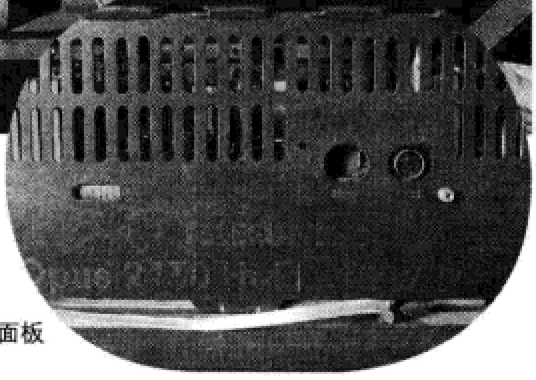
近年来听过很多型号的收音机，声音各有特色，但总感觉有这样或那样的缺憾。最近，慕名买到一台TELEFUNKEN的品牌旗舰机——OPUS 2430 Hi-Fi UKW STEREO。这款收音机是从德国运来的，机器刚到，我就迫不及待地打开包装，检查机器，接好各条连线，接通电源，调到调频波段，醇厚圆润的声音立刻从两个音箱中传出——这不就是我梦寐以求的机器吗？

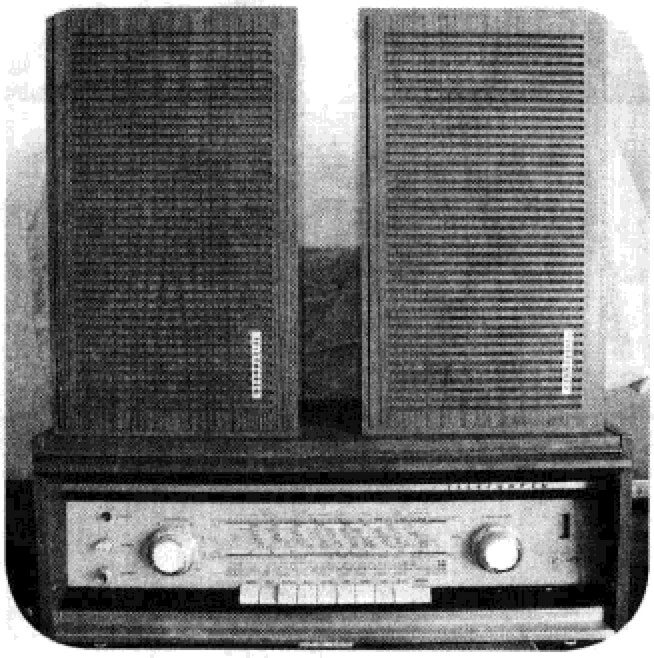
这款来自德国电子管王国的著名品牌的13管立体声分体式高保真收音机——TELEFUNKEN OPUS 2430，面市于20世纪60年代初。该系列收音机共有4种型号（其外形都一样）：OPUS 2430、OPUS 2550供应欧洲市场，调频频率为88~104MHz；OPUS 5430、OPUS 5550供应欧洲以外市场，调频频率为88~108MHz。随着晶体管收音机的蓬勃兴起，这个系列的收音机在市场上停留的时间很短，而随之出现的另一款型号TELEFUNKEN OPUS 2650 Hi-Fi（欧洲以外市场的型号为OPUS 5650 Hi-Fi）其功放电路就改用晶体管放大器了。现在，这两款收音机在市场上的拍卖价钱相差很多，收音机发烧友追捧的还是全电子管的收音机。

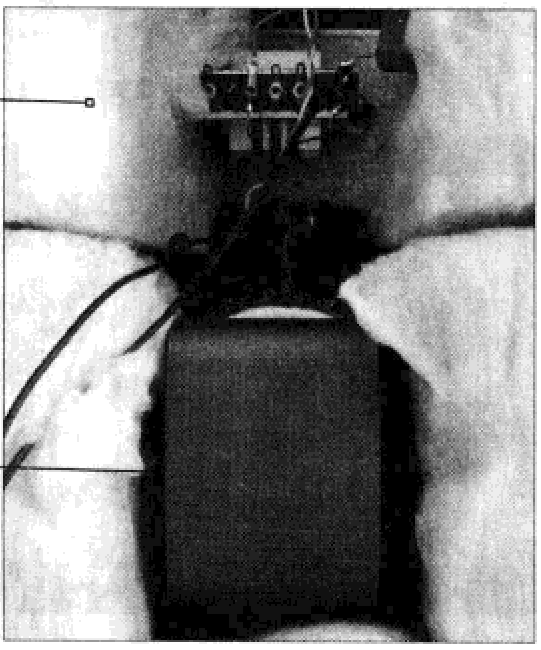

电子管的特写

TELEFUNKEN OPUS 2430 Hi-Fi 收音机是分体式结构——有主机和两个音箱，主机是长方形木质结构，前面有一活动的面板，打开面板，一块占据了整个机器前脸的玻璃度盘呈现在面前，非常漂亮和大气，各种旋钮和按键恰到好处地排


收音机的内部


收音机的后面板


打开前面板的收音机全貌



音箱的内部

列在度盘上。当机器工作时，度盘灯，立体声指示灯，猫眼灯所呈现出来的各种颜色灯光，增添了机器的豪华和高贵。

这台机器共用了13只电子管，其中低频功率放大部分就用了6只管子（4只EL95推挽功放，2只ECC83前置放大），其余的7只管子为ECC85、ECH81、EF89、EAF801、ECF80、ECC808、EM84，全部都是TELEFUNKEN的原装管，这也为该机好声奠定了基础。

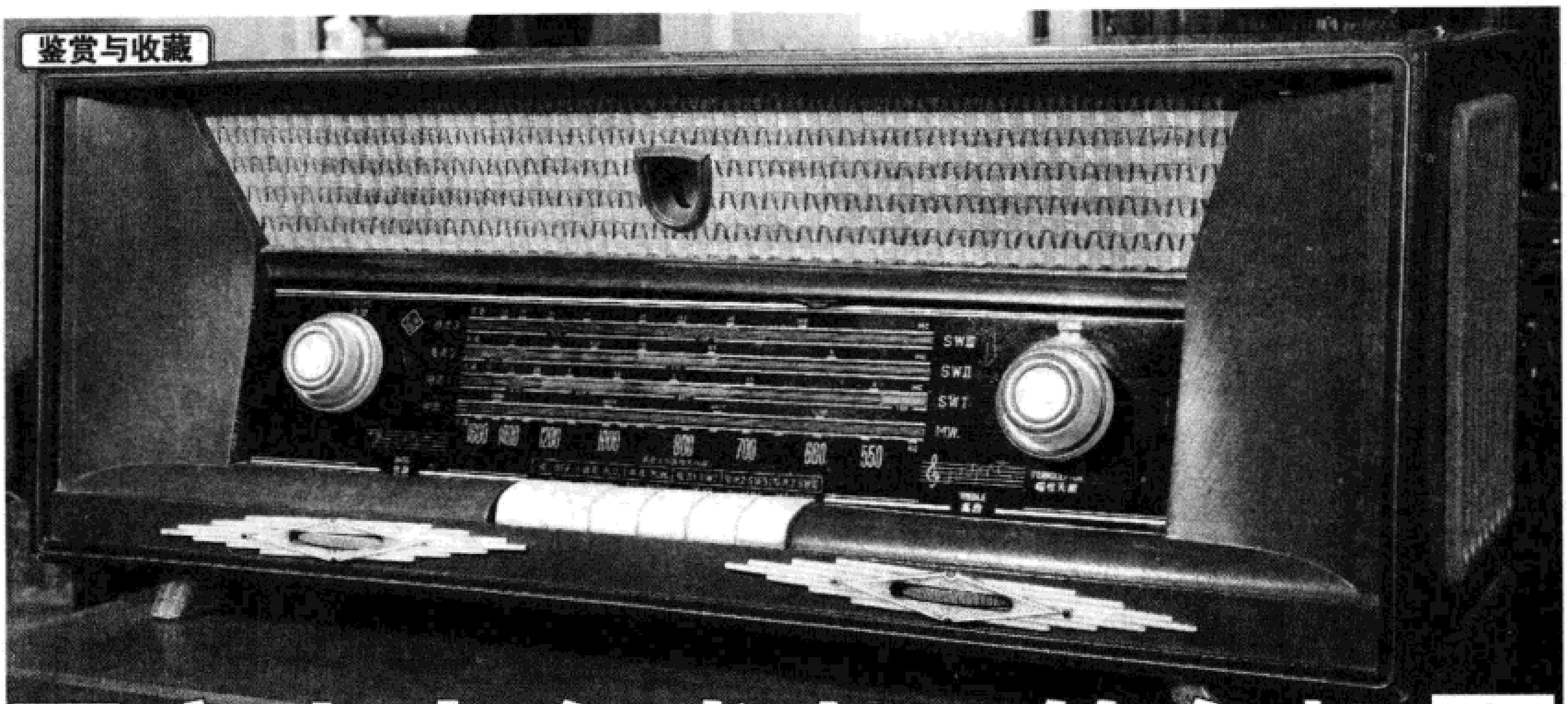
该机有4个波段：FM、MW、SW、LW。有两套调谐机构，一套用于调频，另一套用于调幅，工作起来互不干扰。

这款收音机的亮点除了功率放大器以外，用电子管ECF80做的立体声解码器也非常出色，配接上TELEFUNKEN的音箱，听调频立体声还是那么令人陶醉和刻骨铭心。

两只TELEFUNKEN音箱是专门为电子管收音机配套的，但是购买该款收音机时一般卖家都不带音箱出售，而是要另外购买。我的这对音箱的型号是TELEFUNKEN Hi-Fi KLANGBOX L61，功率为15W。从音箱的大小、颜色和功率来看，与该款收音机搭配是非常合适的。每个音箱用了两只大磁钢的钴磁扬声器，箱体是密闭式结构，内部装满充填物。这一对音箱的低频下潜得很低，也就是大家常说的德国机器所表现出来的“蓬蓬”声。

自从这款收音机来到家里，听调频广播就再没有打开过家里的音响，听到这款收音机发出的优美动人声音，我陶醉在其中。

鉴赏与收藏

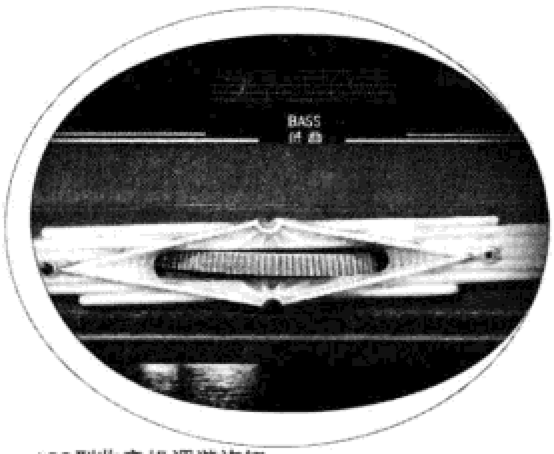


国产十大台式电子管名机3

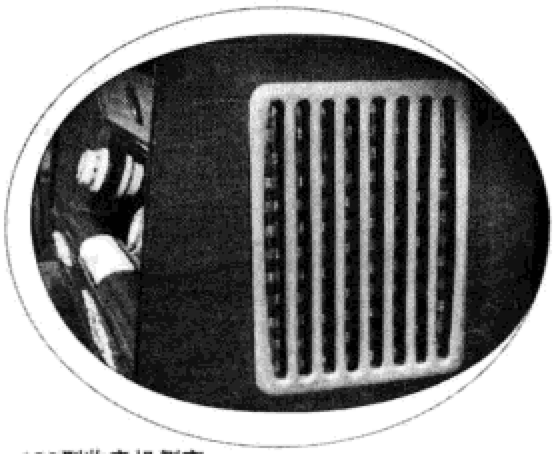
——上海132型收音机

◎陈汉燕
徐　蜀

上海132型电子管收音机、上海广播器材厂1959年出品，系上广电生产的第二款台式一级电子管收音机。在1959年9月举办的全国工业交通展览会上，该机与双龙戏珠版的上海131型收音机双双亮相，成为建国10周年的献礼之作。1959年第10期《无线电》杂志的封2刊登了132型收音机在展览会展台上的照片，同年的11期对132型收音机做了详细介绍。

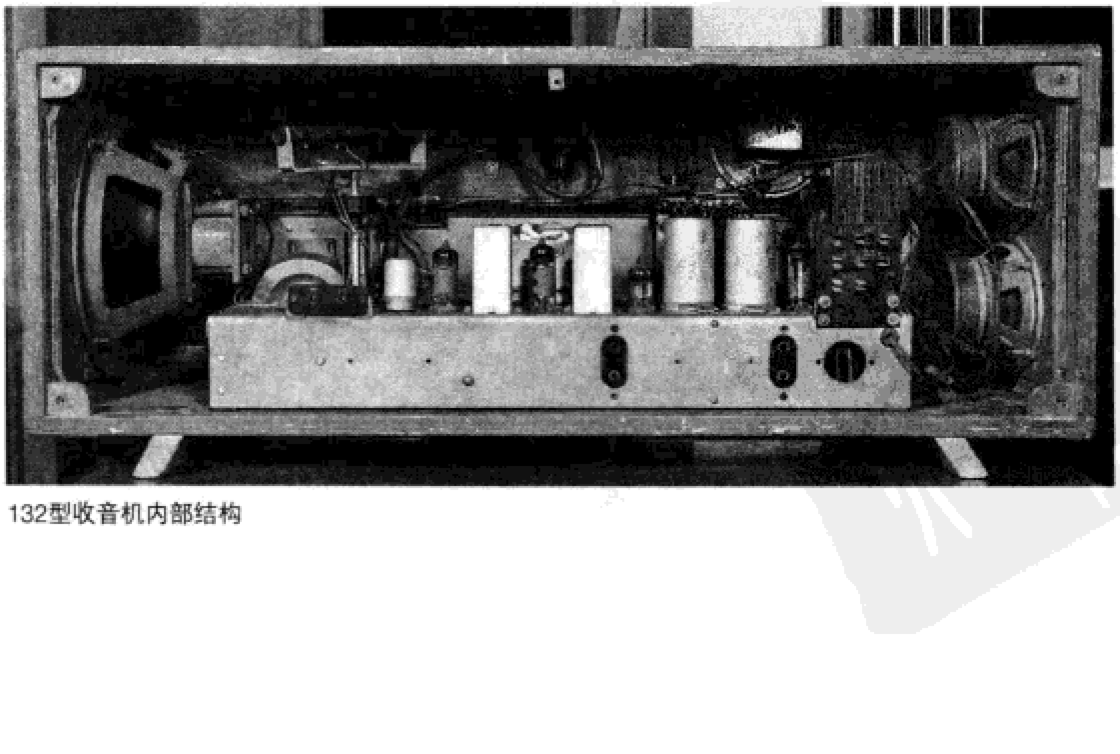


132型收音机调谐旋钮



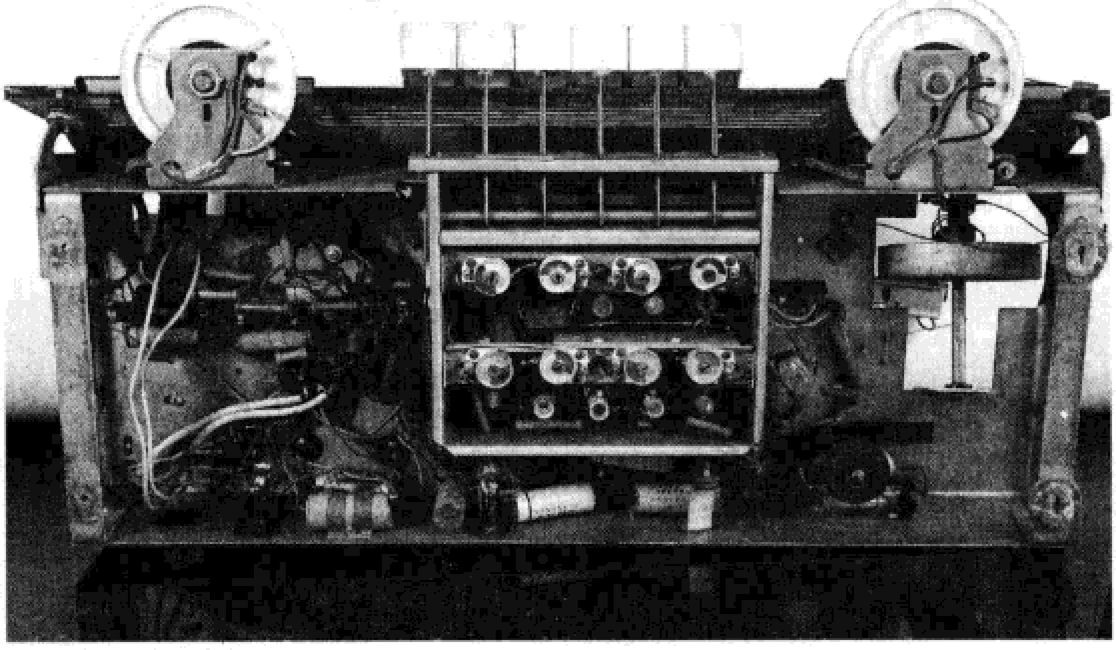
132型收音机侧窗

132型收音机的电路、底板结构、元器件布局，同131型收音机基本相同。上广电的名牌扬声器3P1（202mm低音）和1/4P1（92mm高音）也最后一次出现在该厂的收音机中，只是将131收音机使用的两只1F1换成了1F2型椭圆扬声器。

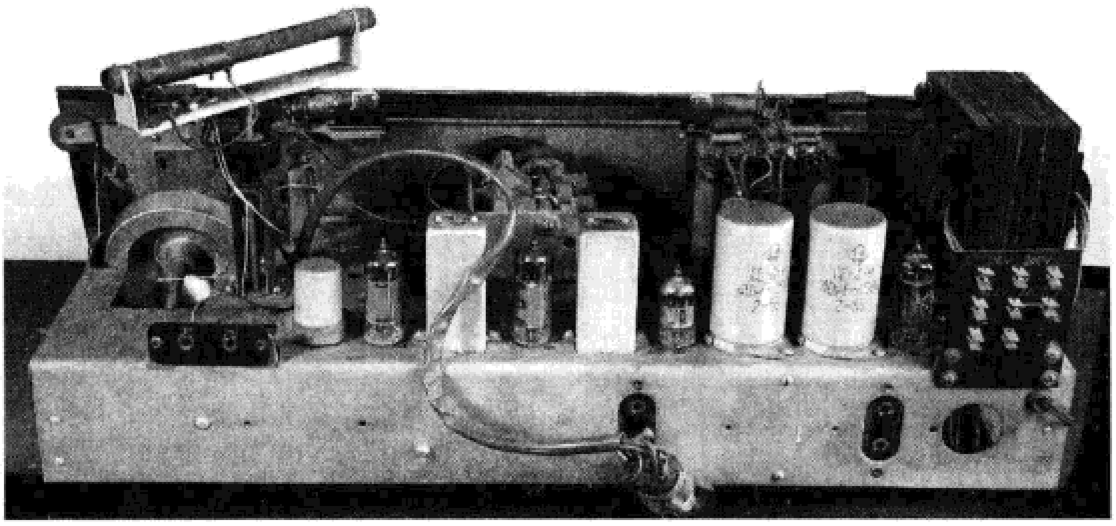


132型收音机内部结构

132型收音机的独到之处，或者说与131型收音机的主要区别是外观



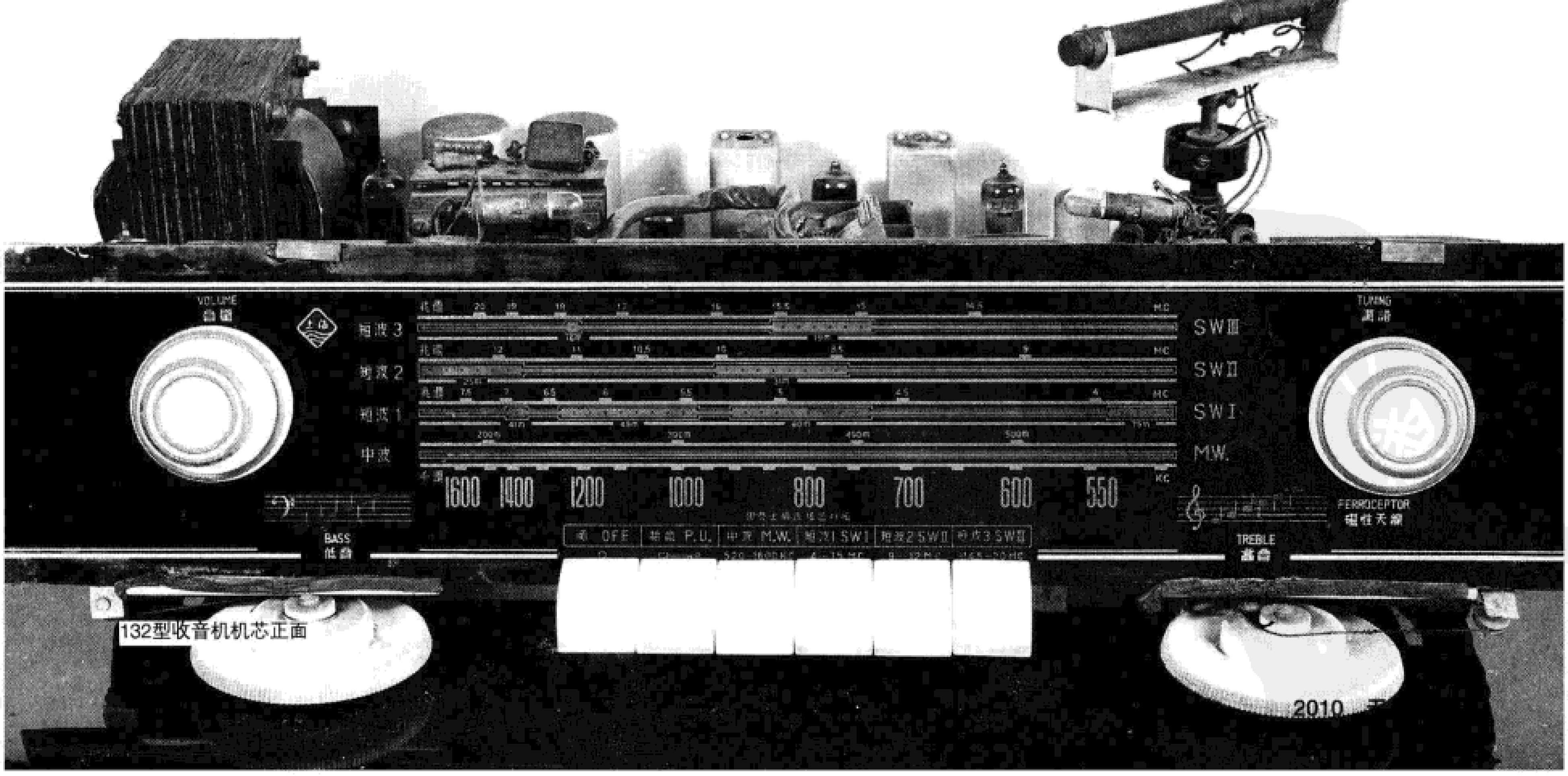
132型收音机机芯底部



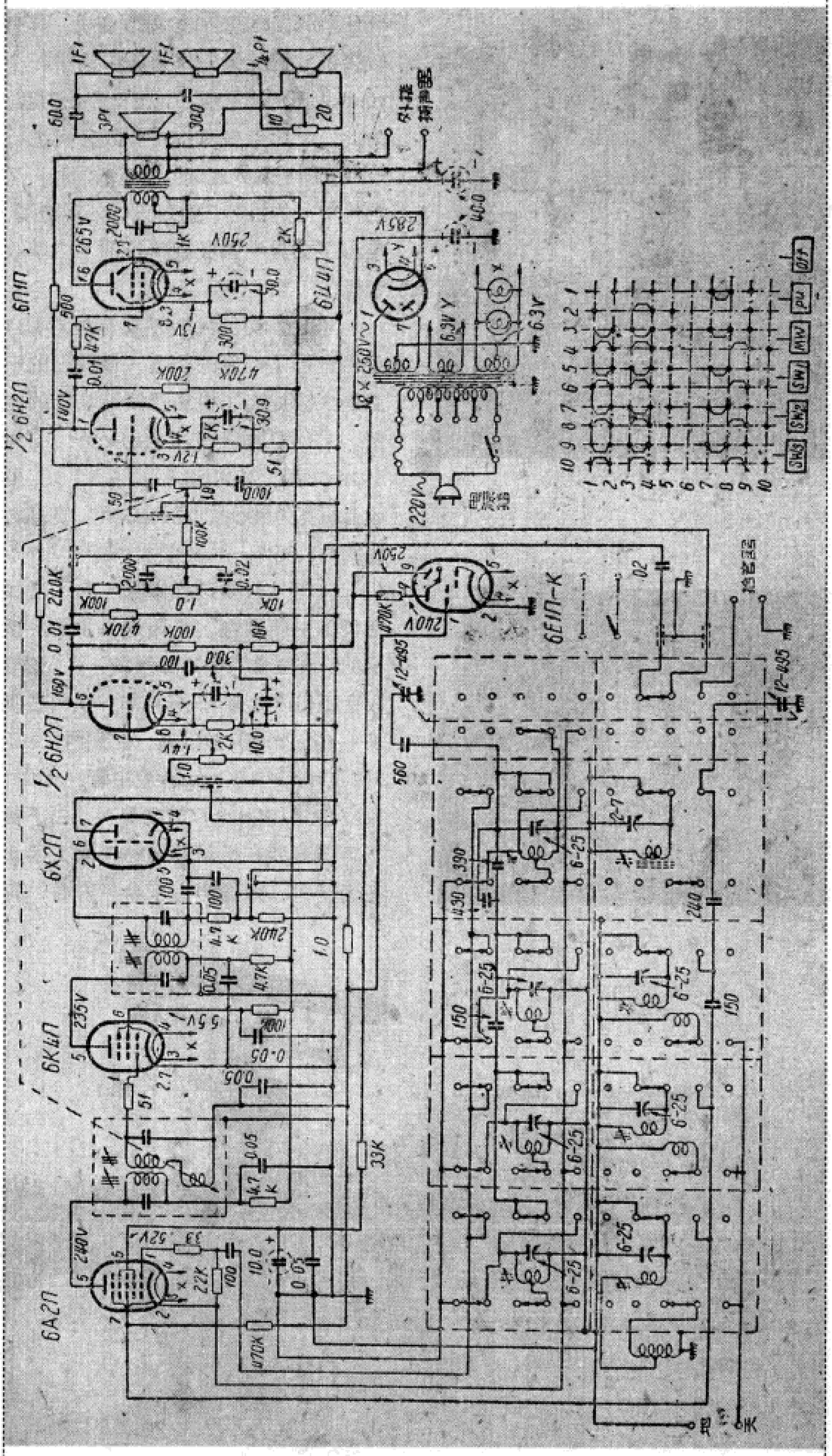
132型收音机机芯背面

造型。本系列的上一篇文章曾经提到，1958 年面市的上海 131 型收音机，外观造型源自根德 2035 型收音机，具有较多的欧洲元素，作为新中国第一个 10 年大庆的献礼作品，显然不合时宜。为此，上广电在对 131 型收音机进行改造（即“双龙戏珠”版）的同时，又利用 131 的机芯，重新设计外观造型，推出了更具中国民族特征的 132 型收音机。

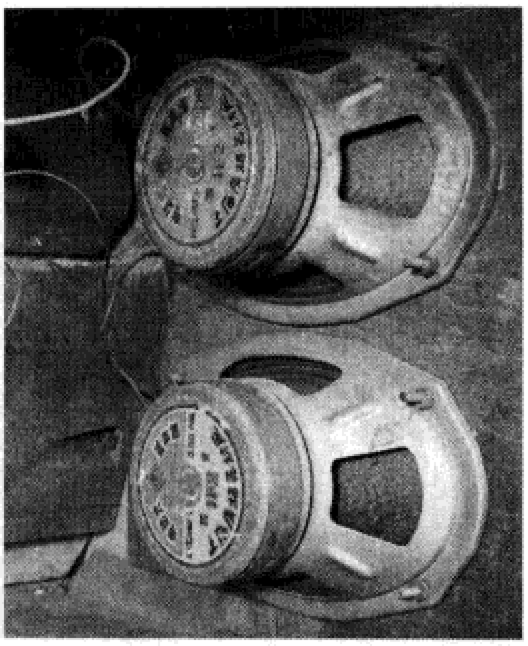
132型收音机的外观造型对131型机进行了彻底的颠覆。最突出的一点是大幅提高了机箱宽度与高度的比例。131型收音机宽为59cm、高为39cm，宽、高之比约为1:1.5；132型收音机宽为69cm、高为26cm，宽高之比约为2.65:1。后者实际上是个“长条机”。为什么要这样做呢？除了增加造型上的新颖性，主要是为了适应该机的“准立体声扬声器系统”。132型收音机机内共装4只扬声器，机箱右侧3P1（202mm）放低音，左侧两只1F2（100mm×150mm）放中音，正面1只1/4P1（92mm）放高音。“由于各扬声器分装在机箱两侧和中间，因此在使用时，好像声音来自多方面，有



132型收音机机芯正面



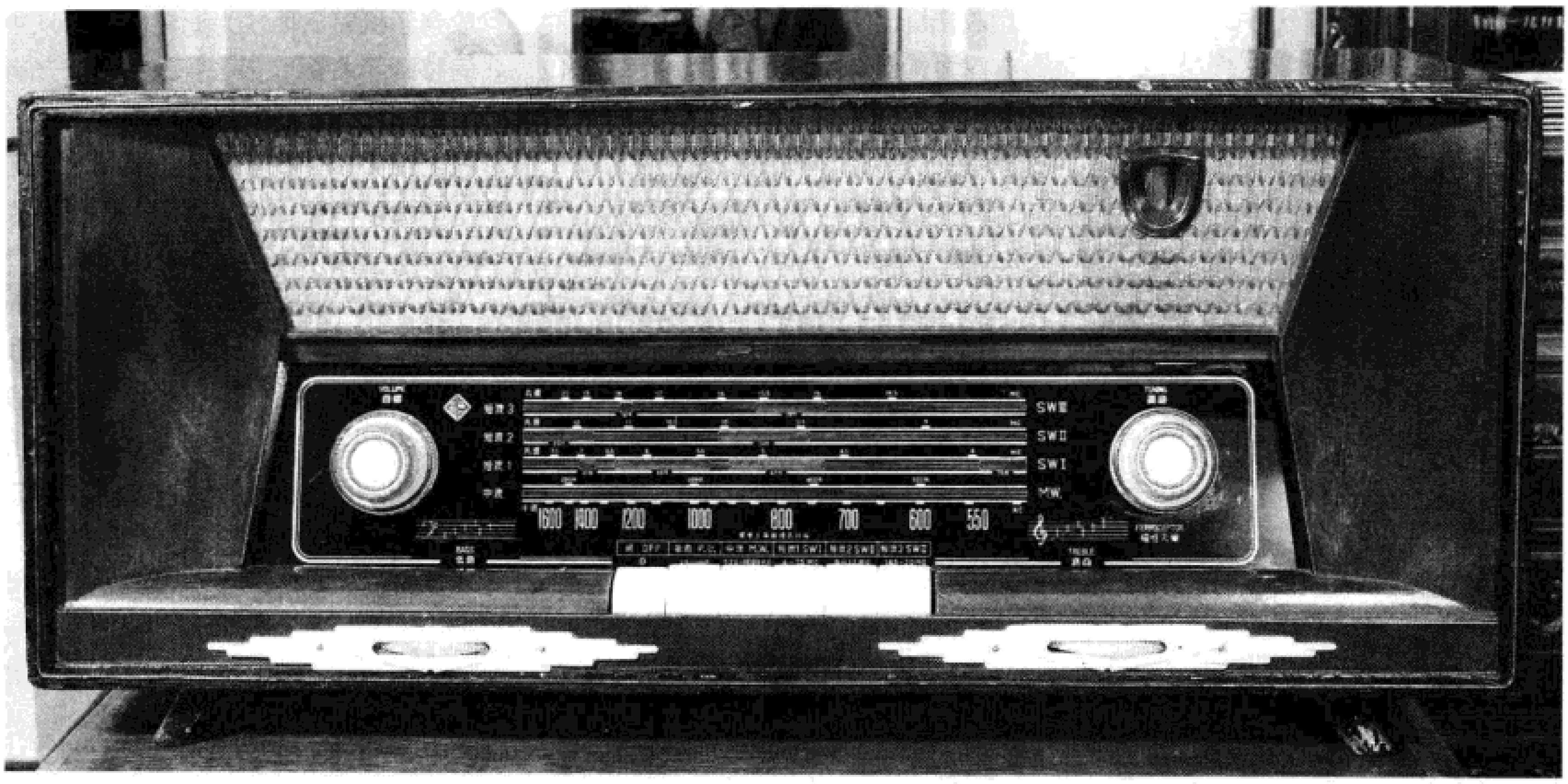
132型收音机电路图（摘自本刊1959年11期）



左侧的双1F2型扬声器

准立体声的感觉。特别是把收音机靠墙角安放，使两侧扬声器的声音由墙壁反射到前面，效果更好”（《无线电》1959年11期16页）。当然，机箱越宽，声场也就越宽，准立体声的效果就更好。132型收音机也开创了国产收音机将主扬声器置于两侧的先例，此后的春雷101型收音机也异曲同工地照此办理。大概是想营造出更加理想的“准立体声”音效吧。

由于机箱的宽度大增、高度大减，而机芯（包括度盘在内）的尺寸依然如旧。如何相互适应，使收音机的造型美观典雅，具备大型台式一级机的风范，就成了设计师需要解决的一道难题。认真审视之后，我们可以说，132 型收音机的设计者完美地解决了上述所有问题。首先，机器正面两侧采用了大面积自然内凹的边框，与度盘衔接，从视觉上避免了原有度盘宽度相对变窄的问题。其次，132 型收音机的正面下方，即原先放置拼音商标与高低音盘型旋钮的位置，如果仍旧使用 131 型收音机长条形状的装饰，势必形成上（细长的喇叭窗）、中（度盘）、下（装饰条）3 个并列的长条，显得异常呆板。设计者去掉了下方长饰条，在高低音旋钮处安放了两枚具有中国传统风格的菱形花窗。这一设计十分成功，大大增强了

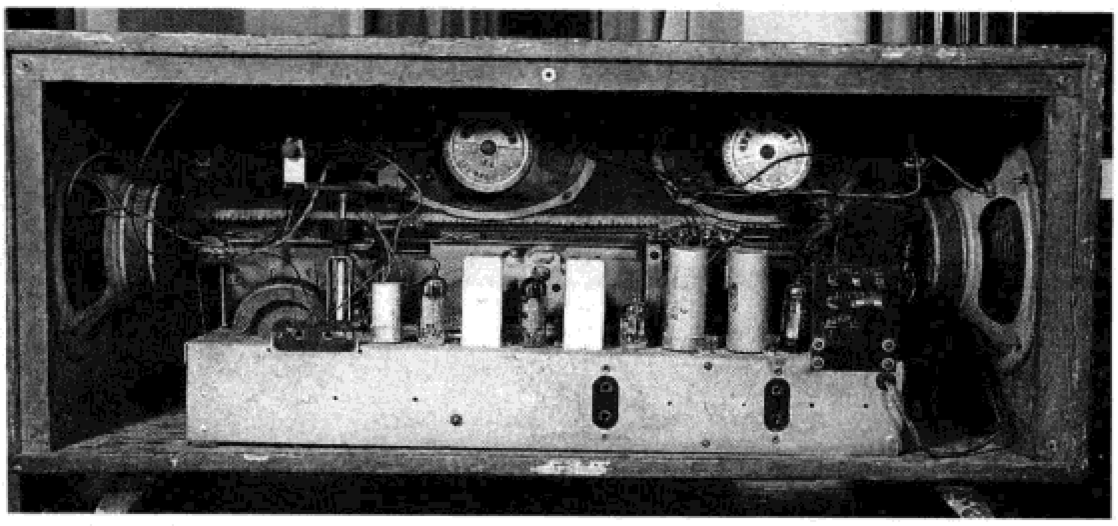


132-1型收音机

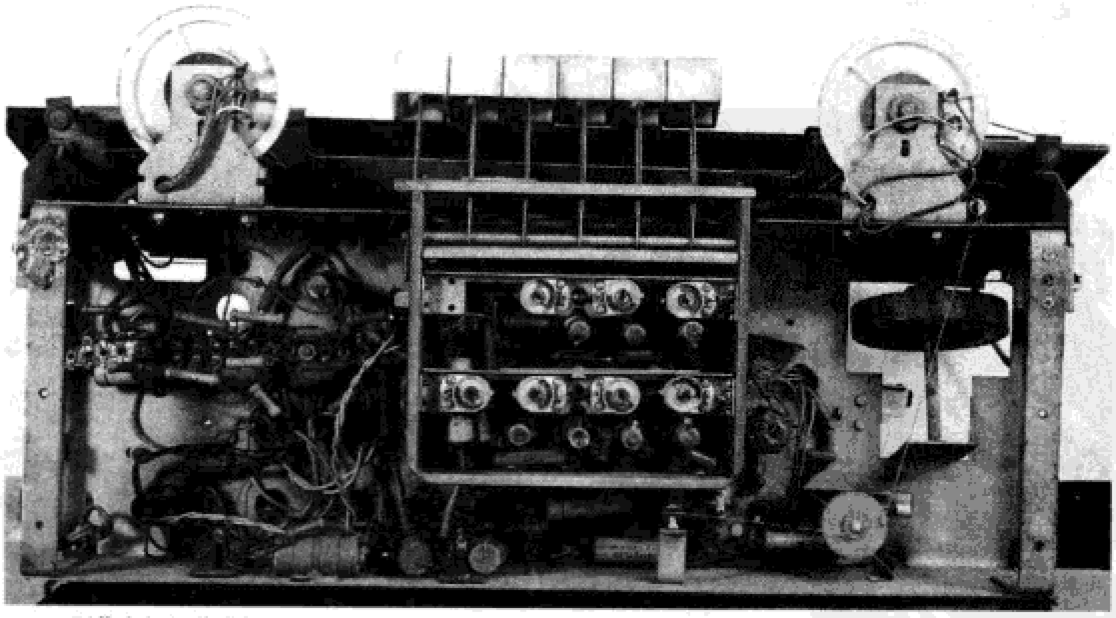
机器正面的视觉效果。此后上无二厂的飞乐 271 型和 2070 型收音机均沿用了这种花窗。

再看收音机的侧面。132型收音机机箱的高度只有26cm，按照传统的设计理念，侧喇叭窗的尺寸应小于131型收音机的侧喇叭窗。但132型收音机的主扬声器是放在机箱侧面的，过小的喇叭窗肯定会影响3P1低音扬声器的正常发挥。因此，设计者给132型收音机安放了一个比131型收音机大得多的木制侧喇叭窗，从而保证了收音机的音响效果。另外，从美学角度看，该侧窗采用宽条圆弧、无直角、外凸的造型，加之较大的尺寸，显得粗犷大气、个性十足。这个侧窗的另一个优点是结实耐用，多年后鲜有坏损者。对比之下，131型和此后132-1型收音机的侧喇叭窗，则显得过于中规中矩，且材料单薄，易于破损。

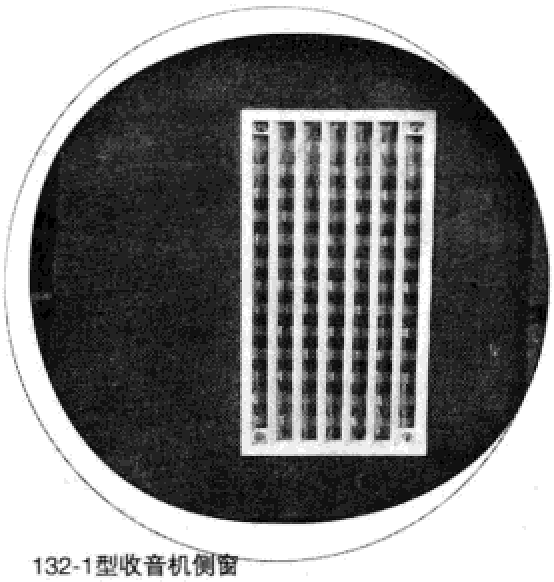
132型收音机生产的时间很短，不到1年。最迟在1959年年底，132型就被132-1型收音机替代了。翻阅当时的有关文献资料可以发现，在1959年9月底举办的全国工业交通展览会上，132



132-1型收音机内部结构



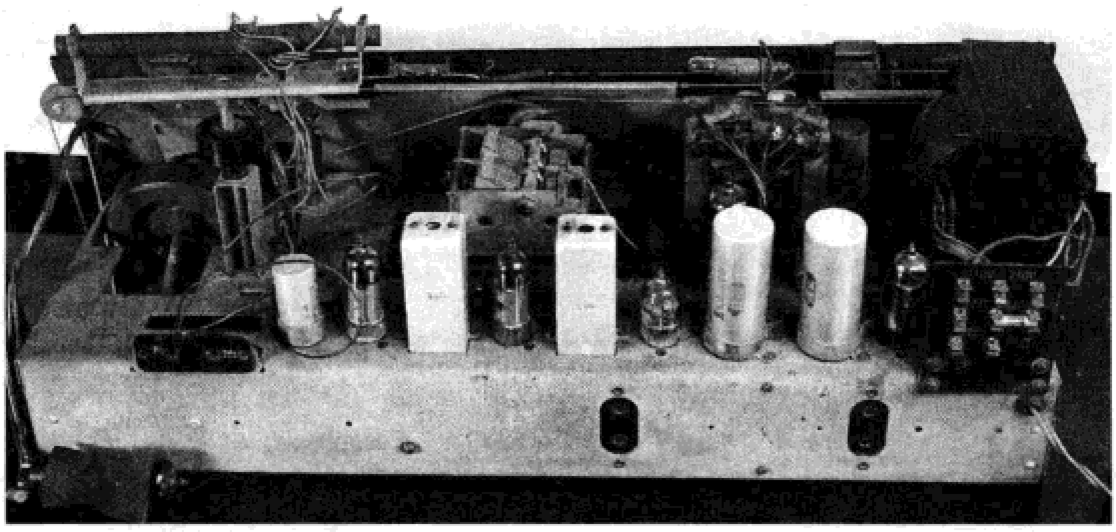
132-1型收音机机芯底部



132-1型收音机侧窗

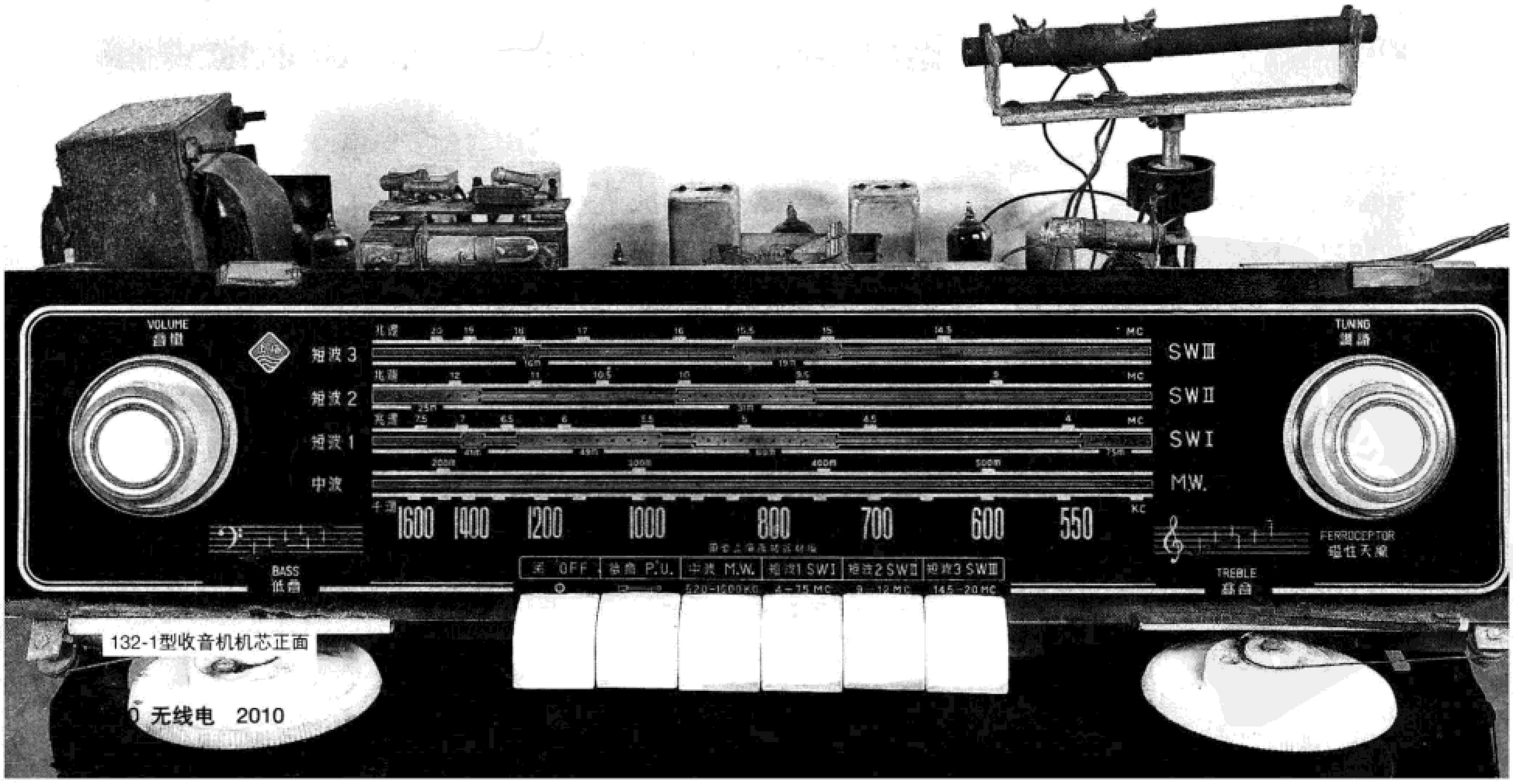
型收音机上了展台，132-1型收音机并未露面。但仅仅3个月之后（1959年12月）举行的全国第一届广播接收机观摩评比会，上广电的参评收音机就由132-1型取代了132型收音机（见《无线电》1959年10期与1960年1期）。

132-1型收音机仍为一级机，其电路与底板上的布局与132型收音机区别不大，但为降低成本，把上广电最经典的两款扬声器3P1低音和1/4P1高音省略了，换成两只2F1和两只1F2的组合。2F1分置于机箱两侧，1F2则放到了机箱正面。为此还将猫眼从中间移到了右侧。因去掉3P1后低音有所损失，特将机箱的高度由26cm增至28cm，以加强低音效果。132-1型收音机的侧喇叭窗不但面积小了，材料也由木制变为很单薄的塑料。保存至今的132-1型收音机的侧喇叭窗多数已断裂残破。这种塑料喇叭窗是132-1型收音机，乃至飞乐271、2070型收音机设计上的一大败笔。1961年起，据说上海牌132-1型收音机转至上海无线电二厂生产，型号改为132-1TH型收音机，电路与配置没有变化。



132-1型收音机机芯背面

回顾上海广播器材厂的收音机生产历史可以看出，132型收音机是其大型经典台式收音机的收官之作。此后该厂便将收音机的生产重心移至小型机。随着电子技术的迅速发展，晶体管收音机已经悄然兴起，电子管收音机逐渐退出了历史舞台。132型收音机的原型机因生产时间很短，产量很低，且用料足，工艺精，因此具有极高的收藏价值。本文图示的132、132-1型收音机分别生产于1959年10月和1960年11月。



132-1型收音机机芯正面

凯隆D39L收音机随机锂电池修复手记

◎梓门

好友送我一部小巧的凯隆 D39L 型收音机，该机采用 Si4374 单片数字调谐、AM/SW/FM 三波段收音、CXA1622M 兼任功放（BTL）与耳放（立体声）、专用的锂电池供电，除了价格偏高、底噪偏大，携带还是很方便的。笔者不是特别的收音机爱好者，偶尔散步时拿出去听一听，倒也自得其乐，不想两块随机锂电池很快就“罢工”了，无论是本机还是随机附带的充电器都无法充电。头一块损坏了，没在意，还有一块嘛，不料另一块坏得更快，觉得不很对头，也太快了吧，满打满算，充电的次数总共也不会超过 50 次啊？抱着试一试的想法给厂家发了电子邮件求助，得到的答复是将电池和电源寄回厂家更换，因为临近春节过年，过年后才能寄回。且不说时间长短，单单是来回运费就够买一部中档的收音机了！但是电池是专用的（见图 1），本地很难买到代用的，外置电池盒的话就失去便携性了。还是“自己动手，丰衣足食”吧，电子爱好者本身就有“动手的癖好”啊，于是才有了这篇“修复”手记，供收音机爱好者参考。

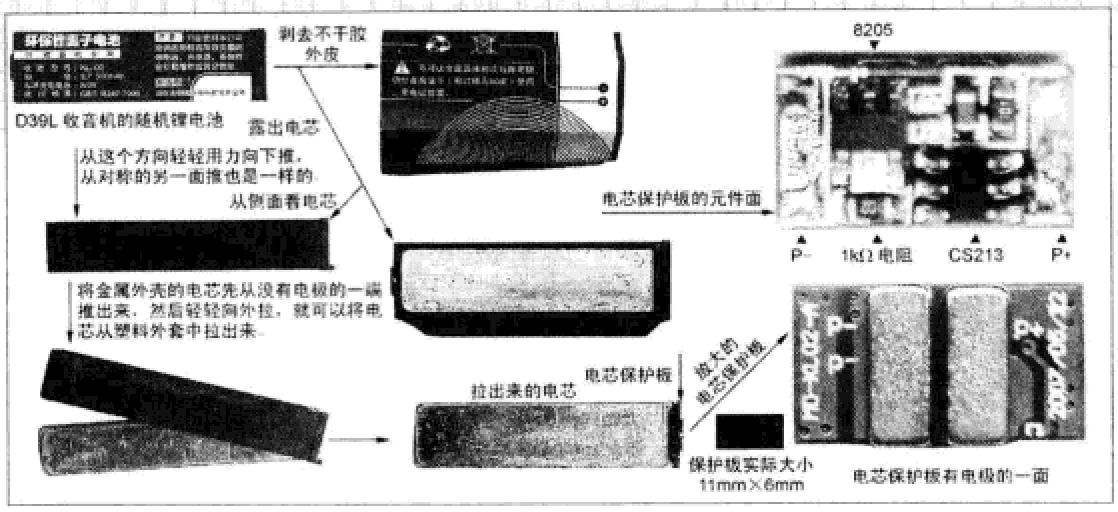


图1 电池拆解过程

拆解电池

既然是电池不工作了，也不准备送回厂家修理了——那样有些得不偿失了啊，就拆了修吧。现在有了数码相机真是方便，用图片说话，比用文字说明拆解过程容易多了！电池的拆解过程如图1所示。

半封闭塑料外壳内的锂电池电芯是密封的金属外壳，从外观上看貌似不错，金属外壳是正极，一端中间引出的金属片是负极，负极的一端接了电池的电芯保护板，双面印制板，一面是元件，有两个 IC，两个电阻，一个电容；另一面是输出端子，有两个长条形的金属板。

用万用表的直流电压挡测试电池电芯的正、负极端子，也测不到电压了，难道真的报废了？充电试试再说，看看还有没有救。

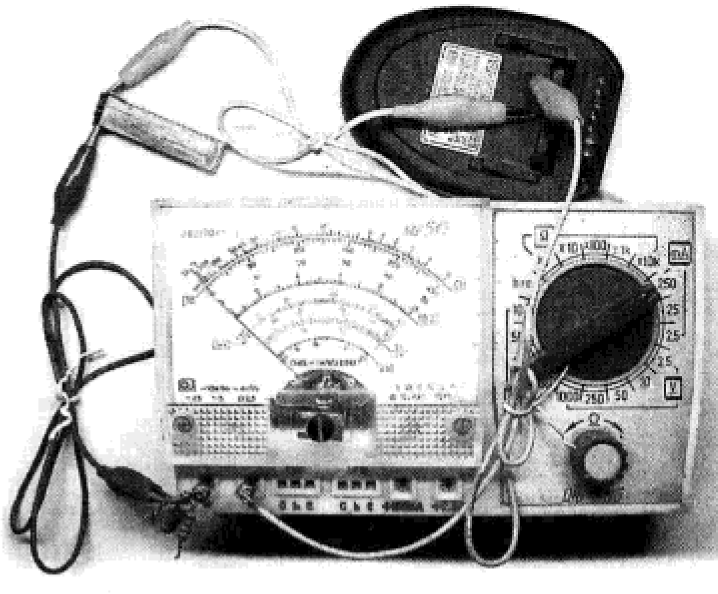


图2 电池充电测试的实物连接图

充电测试

为了保险起见，不再用随机的电源兼充电器，而是用标准的手机电池座充，这块电池的电压规格刚好是3.7V，用标准的座充应该是非常安全保险的。不过为了以防万一，还是觉得串一个万用表监控着才更为保险。这块电池的输出端间隙比较小，一般的万能充也很难适应，好在我有鳄鱼夹，加之要监控电流，普通的座充就足以满足需要了。实物连接如图2所示，原理图非常简单，这里就省略了。万用表是旧了些，这是我用闲置的万用表改制的实验用表，主要用来测电压和电流，原来的表笔已被我用连线及鳄鱼夹来替代了，这样方便随意连接，负极插头上还有一些电阻，随时可用。

先不用限流电阻，接入市电测试，电流超过了 250mA，换 2.5A 挡测量，达 300mA 以上，电池在 5 秒左右就由冰凉变得温温的了。赶快串入限流电阻（动动鳄鱼夹而已，真方便啊），串入 150Ω 的电阻，只有 10mA 了，太小了，再换，再换，换成 33Ω 的，电流到了 100mA 左右，合适了。继续监控，电流很快开始下降，大约 1 小时后已经降到 20mA 以内了，去掉限流电阻，电

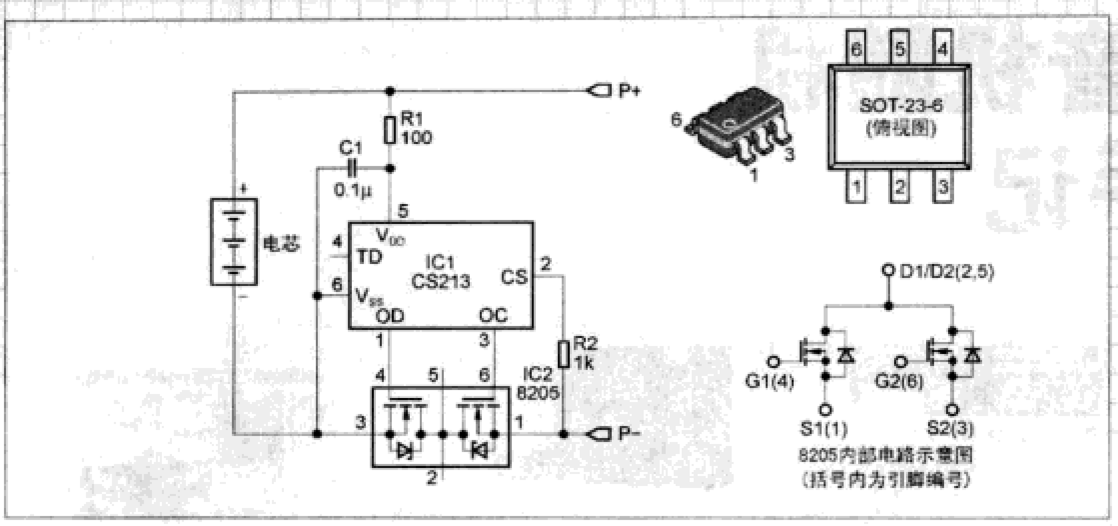


图3 凯隆D39L收音机随机锂电池保护板的电路原理图

流也只是变化了几个毫安，继续充电 3 个小时左右，充电电流已经降到 8mA 左右了。至此不再监控，让座充继续自动为之充电，5 个小时之后，座充的充电指示表明：充电结束。

取下电池，直接测量电池的电芯两端，电压正常，用电流表瞬间测试电池，放电电流也够大。但是测量电池两端仍然不行，看来是电芯的保护板有了问题了。直接用鳄鱼夹将电芯接到收音机上，工作数小时也正常，看来电池的电芯没有问题，只是保护板的问题。

查阅资料，寻找问题，为修理电池电芯保护板做准备

“知己知彼”才能“百战不殆”，要想修复保护板并找到“病因”，就需要知道保护板的详细情况而不是将其一拆了事。图1所示的保护板上共有5个元件，阻容元件很容易测试并判别好坏，剩下的两个很小的IC，TO-23-6封装，用放大镜勉强能够看清其型号，一个是CS213，另一个是8205。

综合查询各方资料，方知如今市面上的锂电池所用的保护电路一般是“控制IC+双NMOS管”形式，NMOS管即N沟道的VMOS管，即N沟道的功率场效应管，用作双向功率电子开关，控制充电与放电，避免锂电池短路、过充电、过放电等；而比较新型的产品是单片IC，即集成了功率场效应管的保护IC。

在市场上，“控制IC+双NMOS管”也分三六九等。

一级市场一般是用进口产品，保护IC常见的有Rioch（理光，日本）的R5421、R5426，Seiko（精工，日本）的S-8241、S-8261，Mitsumi (三美，日本)的MM3077、MM3090、MM3099。MOS管常见的有Sanyo（三洋，日本）的MCH6405，TOSHIBA (东芝，日本)的TPC8209，Fairchild（飞兆，美国）的FSD2502等。

二级市场常见的保护IC有DW01（富晶），CS213（新德），SC451（仕兰微），AM7021（中星微）。MOS管有Fairchild 的FSD9926，AOSMD（万代，中国台湾）的AO8810、AO9926，ST（意法半导体，瑞士）的STS5DNF20V等；

三级市场常见的是CS213（新德）+单MOS方案。

一级市场虽然是国外品牌，也基本是在中国大陆制造，二、三级市场常用的是中国台湾和中国大陆的产品，优势自然是性价比高。本文所涉及的锂电池保护方案显然属于中等二级市场常用的保护方案，即CS213+双NMOS管。CS213的详细技术规格书没有查询到，不过，综合各方资料，二级市场所用的CS213、DW01、SC451等IC的引脚是大致兼容的，所不同的只是外围退耦、消振电容的数量以及电阻的数量与阻值的细微差别，相比之下，CS213还是外围电路最简单的一个，对照图1所示的保护板，核实的电路原理图如图3所示。

图3中的阻容元件已经核实没有损坏，电芯经过充电实验和试用，也基本证明没有问题，现在有了电路图，用万用表的10kΩ挡可以很方便地检测VMOS管的好坏，只是保护板和8205都比较小，需要一个助手配合，具体方法如下。

让助手一手拿着（实际上是用指尖掐着）保护板“P+”标识的一端，手指位置不能超过CS213塑料封装本体，也不能碰着CS213向着“P-”一侧的引脚。另一个手指轻轻按住8205向着印制板边缘一侧的三个引脚，即4、5、6脚。然后你自己的两手各执万用表的一支表笔，注意，万用表置于10kΩ挡，表笔要比较尖的那种，黑表笔接8205中间的那只脚，红表笔接两侧任意一只脚，这时指针偏转应该比较大，至表盘中间位置甚至更为靠近0Ω一侧的位置。表笔保持不动，让助手松开按在印制板边缘的手，这时表笔应该回到电阻接近无穷大的位置，手重新放回，指针重新回到表盘中间位置。这就说明VMOS管是好的，反之，就是坏的了。如果是数字表，除了挡位要合适并且是用9V电池的型号，黑、红表笔也要对调，因为数字表的表笔，红表笔接的是内部电池的正极，而指针式表笔则相反。至于这个方法的原理也很简单，助手的手指相当于给了VMOS管一个偏置，使VMOS管导通了。

好了，至此，可以确定是CS213损坏了。损坏的原因，这就要从D39L收音机说起了。该机的随机电源兼充电器的型号是RD-3，充电控制部分虽

然稍嫌简单，还是具备基本的充电控制功能的，电路原理图如图4所示。

显然用随机电源充电，在正常情况下是不应该有问题的，再来看看收音机中与电池直接有关的电路，如图5所示。可见机内锂电池并无额外的保护电路，如果用外接电源通过收音机给电池充电，即从JK插座输入5V直流电源，经过二极管VD7和保险电阻R16，就直接加到锂电池上了，而一般3.7V的锂电池，如果没有额外的保护电路，对外接电源的要求是4.2V，用5V电源直接充电，无疑对电池会有不良影响。而用收音机对电池充电，却正是一般用户习惯的方式，因为它方便，笔者也是如此。充电电压过高，按说容易损坏的应该是锂电池保护板上的MOS管或者电芯，偏偏是控制电路损坏了，虽然5V电压略高，按说也不应该超过CS213的极限电压，这就有些令人费解了，唯一可能的解释是，CS213不良。

凯隆官方并不提供其产品的电路原理图，图4、5都是笔者对照实物翻版的，不保证一定准确，为了小小一块电池，笔者将整个收音机的电路都测绘了，这也是电子爱好者的“毛病”啊，只是其他电路与本文关系不大，这里就省略了。

四、对“症”下药，修复电池

能找到CS213或者类似的同类IC换上当然最理想了，笔者手中恰好没有，只好用个不太安全的“土”办法：在锂电池保护板上的8205的1、3脚之间焊上一个33Ω的贴片电阻（参见图3），既可以限制充电电流，又

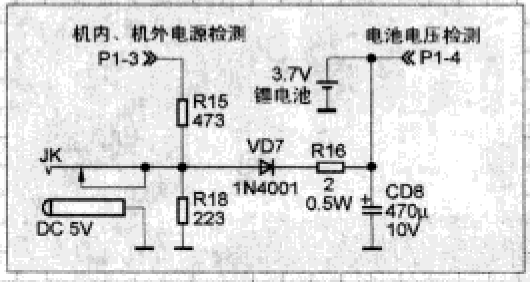


图5 凯隆D39L收音机与电池直接相关的电路

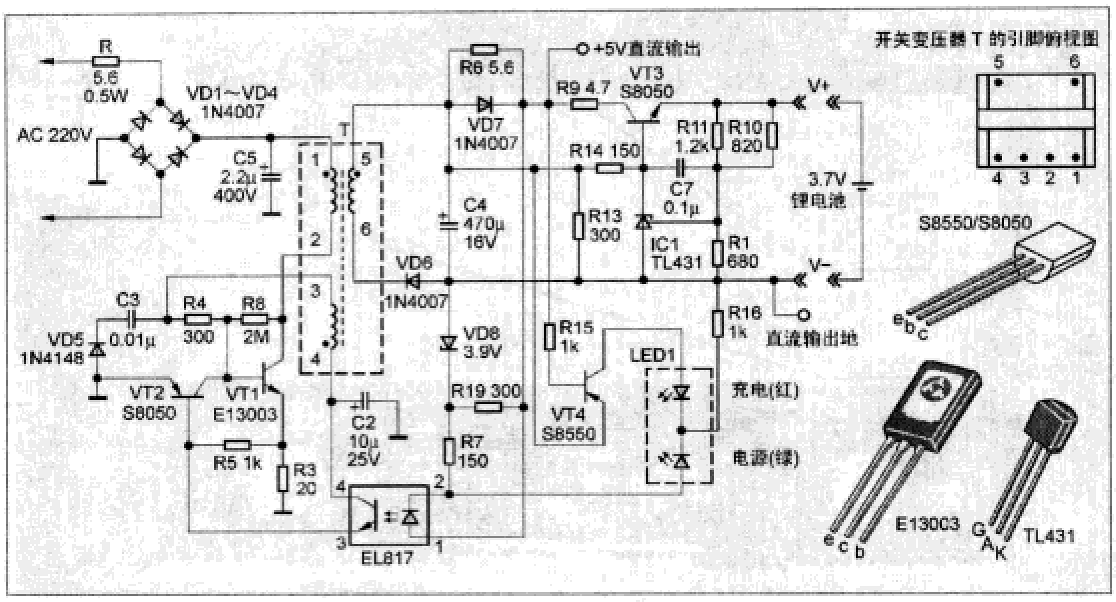


图4 凯隆D39L收音机随机电源兼充电器的电路原理图

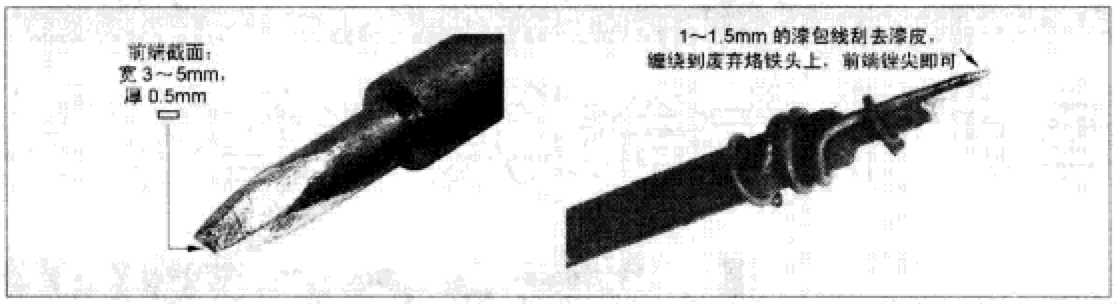


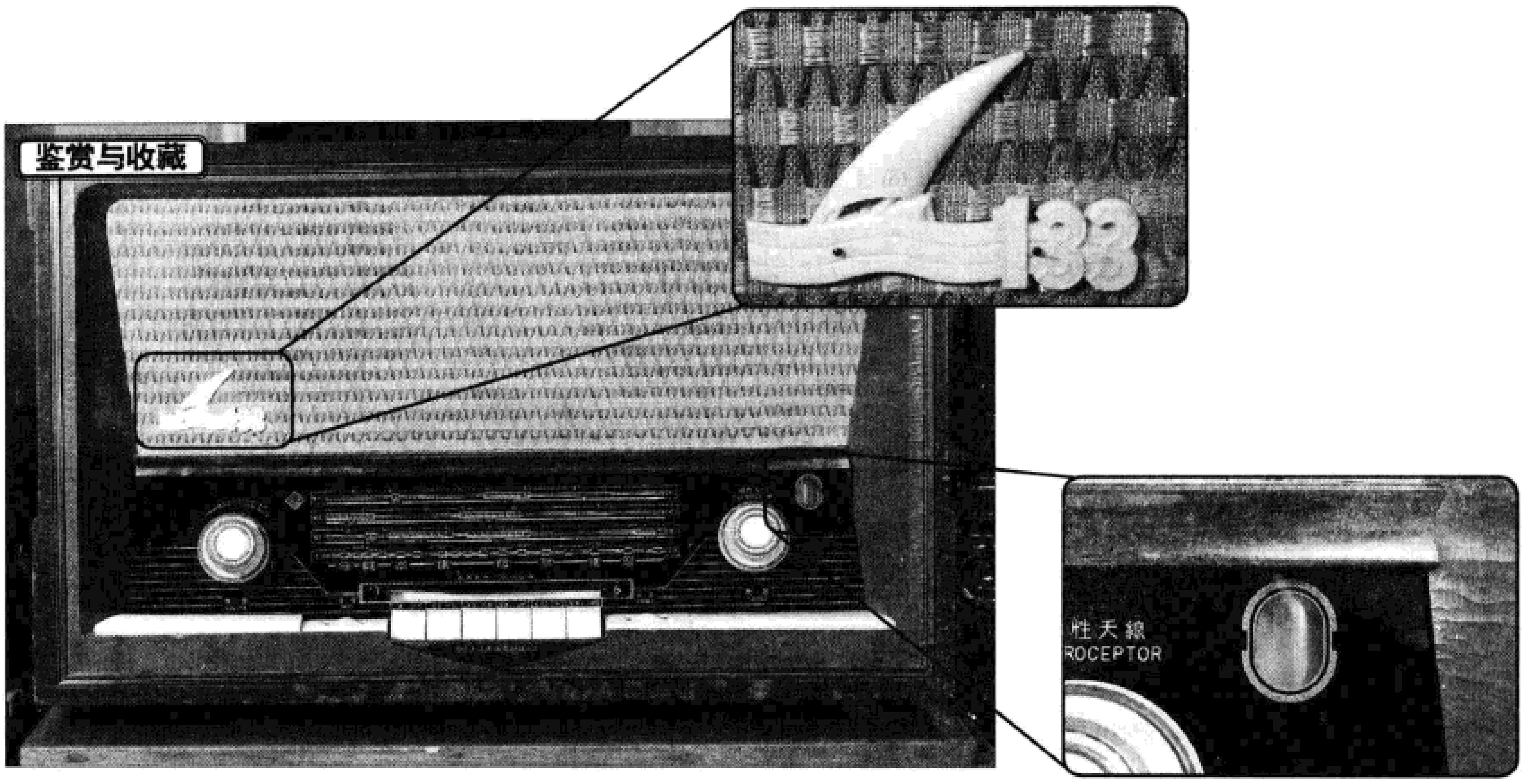
图6 自己处理和改装的两种烙铁头

将保护板上的保护电路跨接不用了。剩下的事情，就是将保护板焊回原位置，装上塑料保护壳，贴上不干胶贴纸，就可以继续使用这块专用的锂电池了。

至于小元件的拆卸与焊接，除了必须有一定的动手能力外，还要有称手的工具。焊接贴片元件，比较正规的工具是热风台，手机维修店里常见，几乎是必备工具。对于一般爱好者而言，如果是偶尔为之，自己处理和改装的电烙铁，稍微练习一下，也比较好用，如图6所示。首先是电烙铁功率不能大，20～25W即可，其次最好是内热式的，这也许是笔者的偏爱，或者是感觉而已。至于是否接地，笔者自己的经验是，还是漏电保护开关可靠，至于静电，笔者还从来没有因为这个导致IC坏的，当然是指JFET、CMOS之类易受静电影响的元件了。图6所示的左侧的烙铁头，一般的小元件焊接拆卸都可以，包括SSOP之类有引脚的贴片式IC，拆卸这些IC时，需要两把电烙铁，在所有的引脚上搪上锡，两把烙铁同时加热，就可以焊下来了。像8205这样的，直接一个大一点的锡包，将它包起来，也可以直接焊下来，然后用烙铁清理多余的焊锡即可。要装8205这样的IC或者贴片电阻之类的小元件，图6所示的右侧的自制烙铁头就很管用，详细的使用方法这里就不说了，感兴趣的可以参考2009年的《无线电》第11、12期的《基于开关电源的线性功放及其摩机》。

为了使用上的安全，如果还要继续使用D39L原配的电源兼充电器，最好对照图4做如下改动：将+5V输出改接到“V+”上，这样就将“兼职”的随机电源改成了专门的充电器了。尽管如此，笔者还是不放心，决定将该电源闲置，改用座充来担当收音机的充电器，反正就笔者自己的实际情况，收音机不常用，充电也就很少，虽然欠方便，却更安全。

鉴赏与收藏



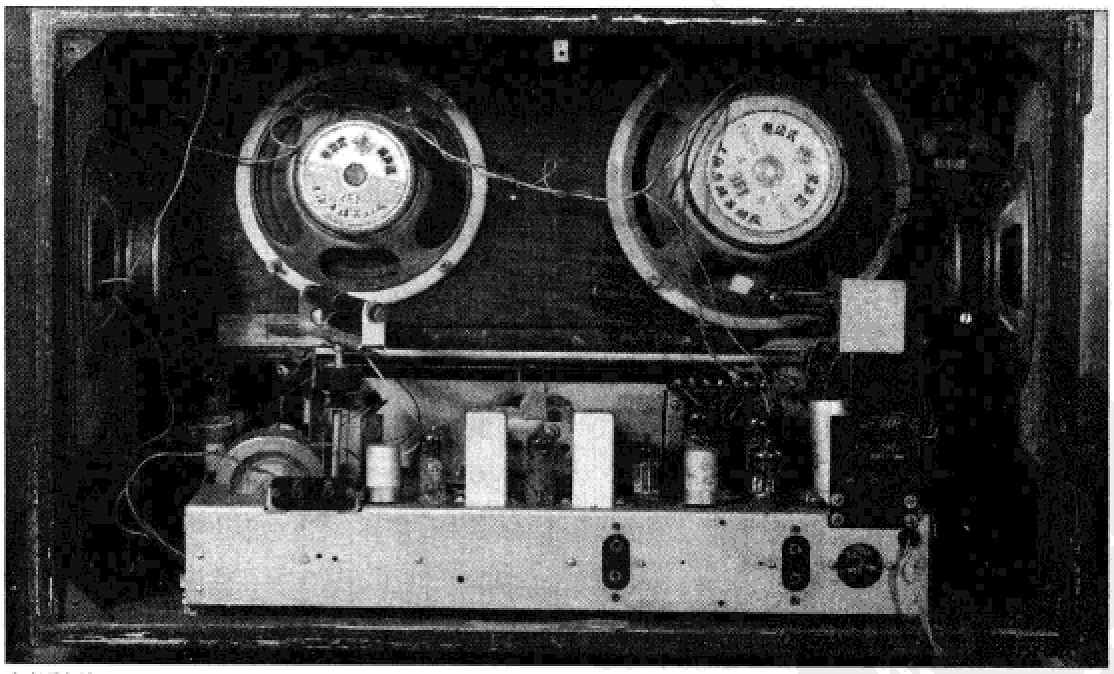
国产十大台式电子管名机 4

——上海133型收音机

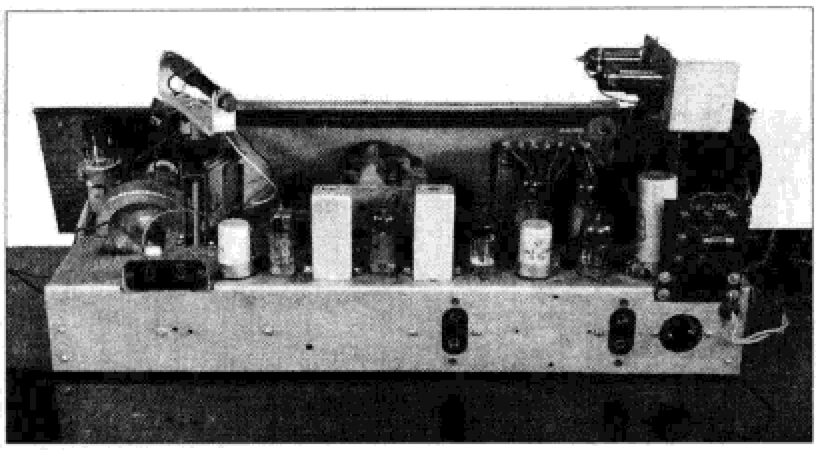
◎陈汉燕
徐蜀

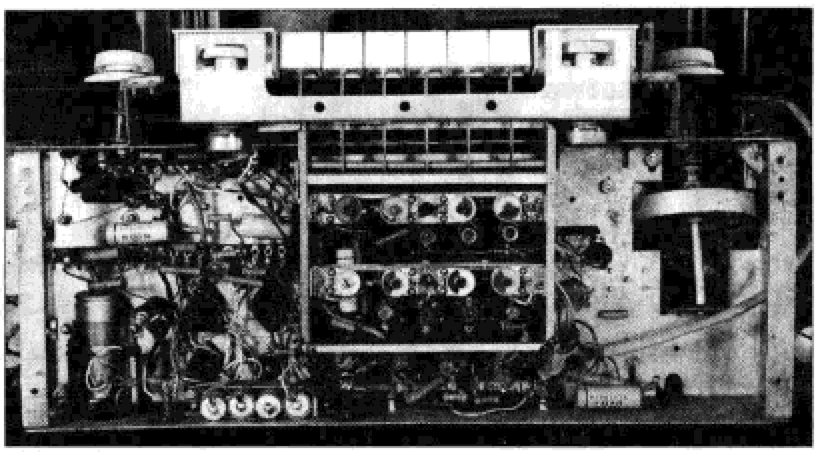
上海广播器材厂出品的上海牌133型收音机共有两种：其一是1954年上市的3管再生机，其二是1959年研制出的大型9管台式机。本文所述为后者。正如型号的排序，上海133型收音机是继131、132型收音机之后，上海广播器材厂的第三种一级台式电子管收音机。以前曾经提到，132原型机的产量很少，贯彻了节约方针的132-1型收音机后来却大行其道。133型收音机的命运似乎还不如132型收音机，上市不久便停止了生产。由于生产时间太短，产量极少，因此《无线电》杂志并没有按照惯例刊登133型收音机的介绍文章，只有1960年的一期公布1959年全国广播接收机观摩评比会的评奖结果时提到过它，“其中得一等奖的（收音机）有南京无线电厂的熊猫牌1501、1502、1401型特级收音机，601、506-1型三级收音机；上海广播器材厂的131、132-1、133一级收音机”。从结果来看，133型收音机似乎是专为国庆十周年献礼和第一次收音机评比定级而生产的。

133型收音机的文献资料甚少，相关的收音机手册均未收录其电路图。仔细观察该机的底板构造尺寸、元器件布局，可以看出，它其实就是131、132型收音机的升级版，只是在功率输出部分和电源整流部分分别增加了一



内部结构


机芯背面

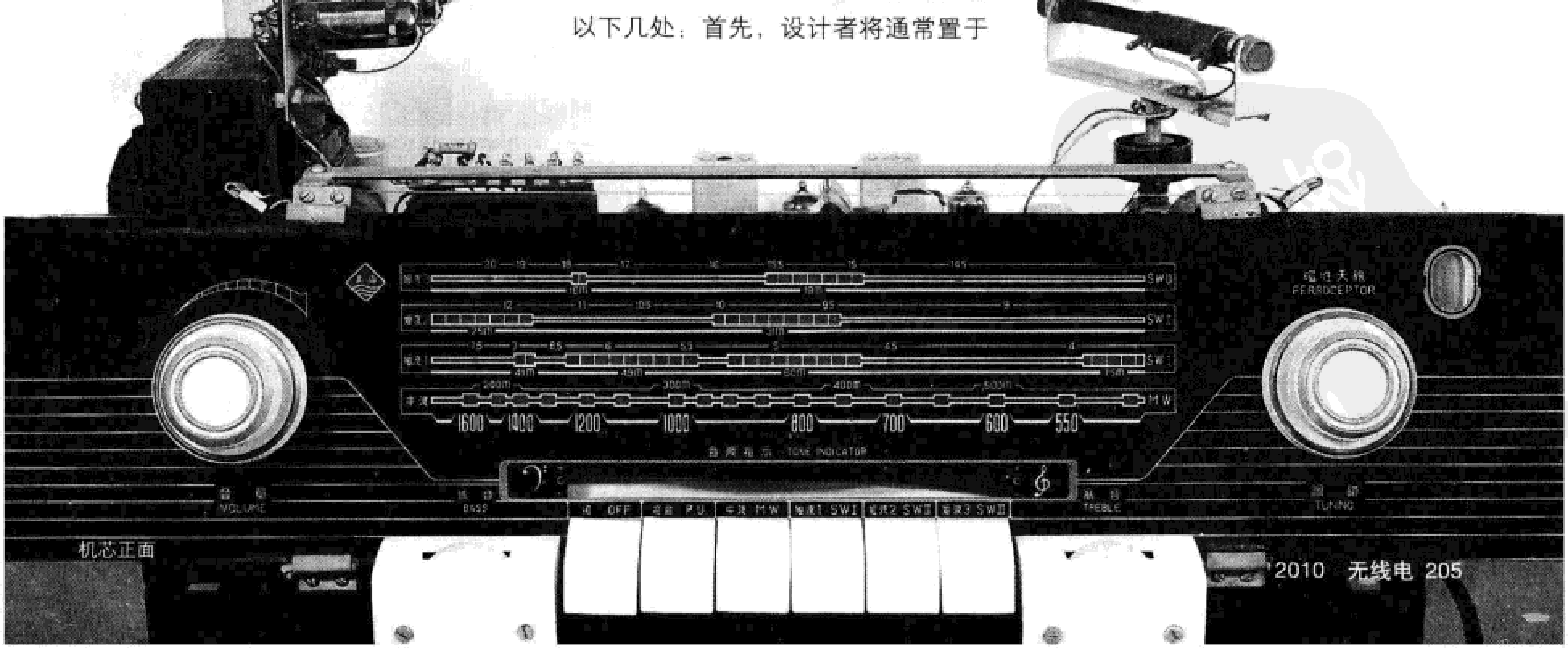

底盘下面

只6P1、6Z4而已。133的生产时间虽不长，却经历了中国收音机发展史中的一个特殊时期。1957年至1959年10月，是我国收音机大干快上的大发展时期，多数特级、一级机都是那时研制生产的。

国家有关部门1958年公布了收音机的定级标准，明确规定：电子管数量，特级不限，一二级不超出7个。133型收音机是9管机，虽然评上了一级机，但主要元件电子管的数量超标，不符合一级机的要求。之所以如此，大概有两种情况：其一，上广电在开发131型收音机时便同时制订并实施了133型收音机的升级方案，当时收音机的定级标准尚未出台，其二，上广电将133型收音机作为特级机进行打造，但最终未能如愿。我们认为，无论出于哪一种考虑，133型收音机的接收性能未能达到特级机的标准，是不争的事实，能“破格”评上一级机，已属不易。从实际情况看，133型收音机接收部分的电路与131、132型收音机完全一样，只是末端增加了一些输出功率而已。并且133型收音机的电源变压器的容量似乎没有增加，机箱的尺寸与131型收音机差别不大，主扬声器依然是202mm的3F1（甚至没有使用上广电的招牌扬声器3P1、1/4P-1），实际的收听效果也不可能有多大的改善，增加的2只电子管，实属画蛇添足。在那个物质比较匮乏，力求节约高效的年代，133型收音机自然属于被淘汰的产品。与此截然不同的是飞乐272型收音机，在不增加电子管数量的前提下，通过提高电路的技术含量，增强了机器的接收水平和音效，加之融贯中西的外观设计，令人耳目一新，因此成为一级电子管机中的佼佼者。

上海133型收音机从整体看虽不成功，但它毕竟是我国收音机工业大跃进时期的产物，设计者力图创新的主观诉求在其外观造型上有着相当明显的反映。机箱宽64cm，高40cm，前、后尺寸上部25cm、下部28 cm，略大于131型收音机。该机造型方面的亮点有以下几处：首先，设计者将通常置于正面喇叭窗上的猫眼移到了度盘上，使机器的整体布局显得简洁大气，同时还突出了喇叭窗左下方标牌的造型效果。那枚具有象牙般质感的风帆形133塑标灵动飘逸，是此机外观设计的点睛之作。正下方的铜质长三角形厂标使机身平添了几分华贵典雅。其次，机箱与正面以及框内的金属装饰条横平竖直、见棱见角，配以度盘上长条状波段指示和8根白色线条，阳刚之气十足，与电路设计双6P1大功率输出的意图珠联璧合。再有，收音机侧面多层木板厚度的不同与颜色的差异，也增强了机器整体的视觉效果。上海133型收音机的造型设计应该是非常有特色的，这多少可以弥补一下电路设计的不足。

从收藏的角度看，物以稀为贵，133型收音机由于产量太少，存世量极低，又经历了一个特殊的历史时期，因此具有很高的收藏和研究价值。本文图示133型收音机，出厂日期为1960年2月。



机芯正面

图1

共同的爱好 美好的相聚

◎本刊记者

Erns Erb先生是世界著名网上收音机博物馆（www.radiomuseum.）的创始人，今年3月底至4月初，Erns Erb夫妇随旅行团来到中国，到北京、上海、西安、广州、香港等地进行了自助旅游，Erns Erb夫妇是第一次来中国，我国秀美的河山、古老的文化给他们留下了深刻的印象，中国收音机爱好群体之庞大令他们震惊，中国爱好者对收音机藏品的执着追求及热情好客使他们感动，共同的爱好，美好的相聚伴随着他们的整个中国之行。

Erns Erb先生创立的网上收音机博物馆设置了英语、法语、德语、西班牙语和意大利语界面，介绍了各国不同时期、不同品牌的收音机的主要特点。访问者可以按照出产国、品牌、收音机类型等搜索到自己想要的精美外观照片、电路原理图、各种电子管的技术参数与代换型号等丰富的资料信息，这对于修复古董收音机来说是十分难得的资料。我们坚信，在Erns Erb夫妇这次中国之行后，这个网上收音机博物馆中也会出现用中文介绍的中国品牌的收音机。这也是Erns Erb夫妇这次中国之行的最大收获。

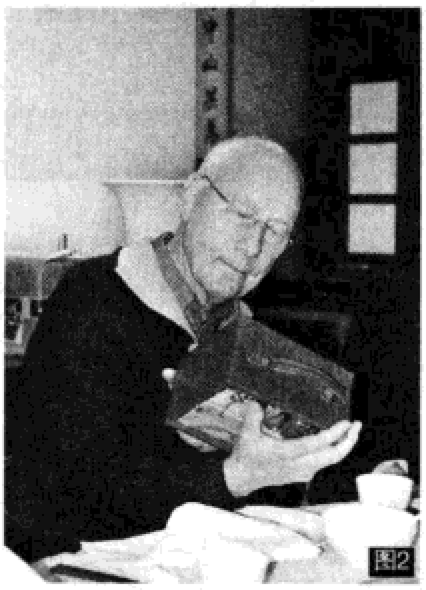


图2

图3

图4

图5

图1 Erns Erb先生用德文编写的一套有关无线电和收音机的书籍，在欧洲很畅销，被誉为收音机的圣经。在本次各地的聚会上Erns Erb先生向收音机爱好者赠送一套他的著书。

图2 Erns Erb先生仔细欣赏北京收音机爱好者送来的古董收音机。

图3 由北京无线电广播爱好者协会组织一场规模不大，但气氛热烈的欢迎晚宴，晚宴上“卡迪埃”担任翻译并代表协会赠送了“北京无线电广播爱好者联谊会”的水晶台匾和具有中国传统色彩的礼物，有的爱好者还赠送了自己制作的收音机。

图4 上海的广播爱好者在同济大学老收音机咖啡馆为Erns Erb夫妇举行了茶话会，“长三角大夫”代表上海的广播爱好者向Erns Erb夫妇赠送了刻有“欢迎Erns Erb伉俪访问上海”的水晶牌，“电罗经”赠送了一台熊猫牌袖珍半导体收音机。来自西班牙在上海工作的Leon Ouziel先生和来自广西、河北、安徽、江苏等地的收音机爱好者也出席了茶话会。

图5 Erns Erb先生与上海爱好者一起欣赏他们收藏的收音机。

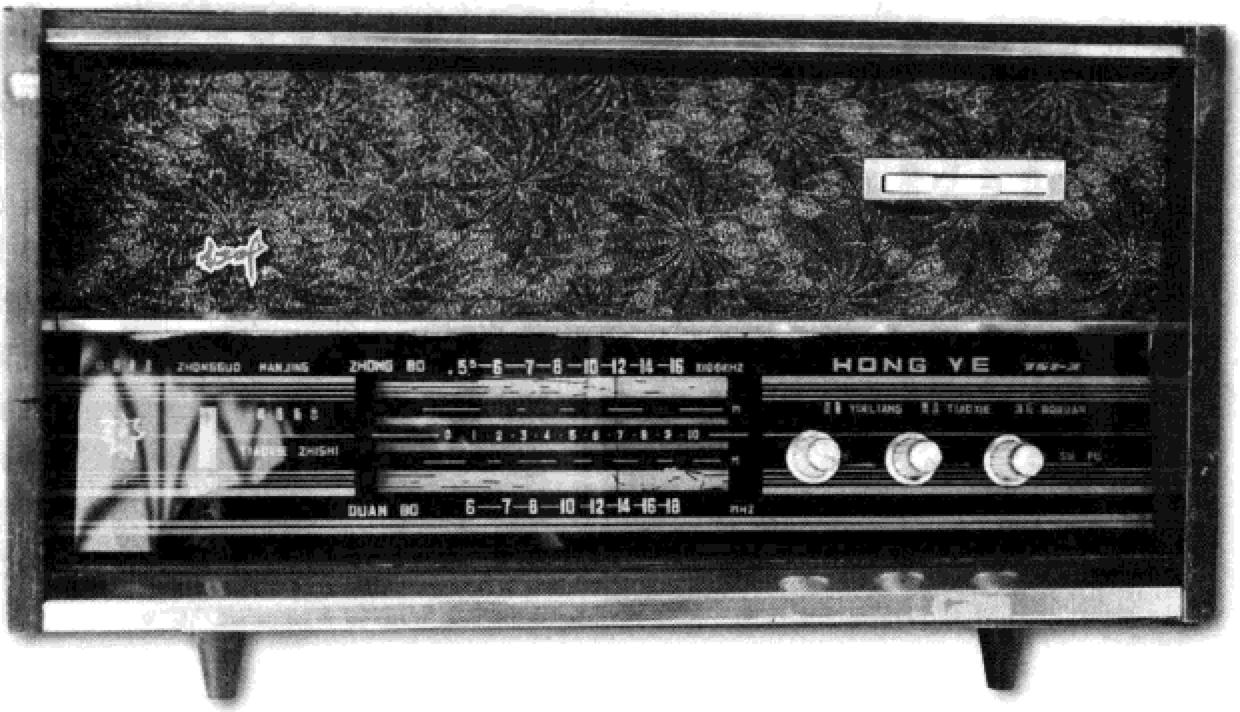
图6

图6 香港及珠三角地区的收音机爱好者相聚在广州，世华无协的主席霍定洪先生特为Erns Erb先生颁发了“世华无协荣誉高级会士”的名衔证书。在世华无协的主席霍定洪、副主席梁伟、秘书长胡铁君、邱建球、Ahping等陪同下，Erns Erb夫妇参观了东莞德生通用电器制造有限公司和中山市“收音机博物馆”。

红灯伴我听广播

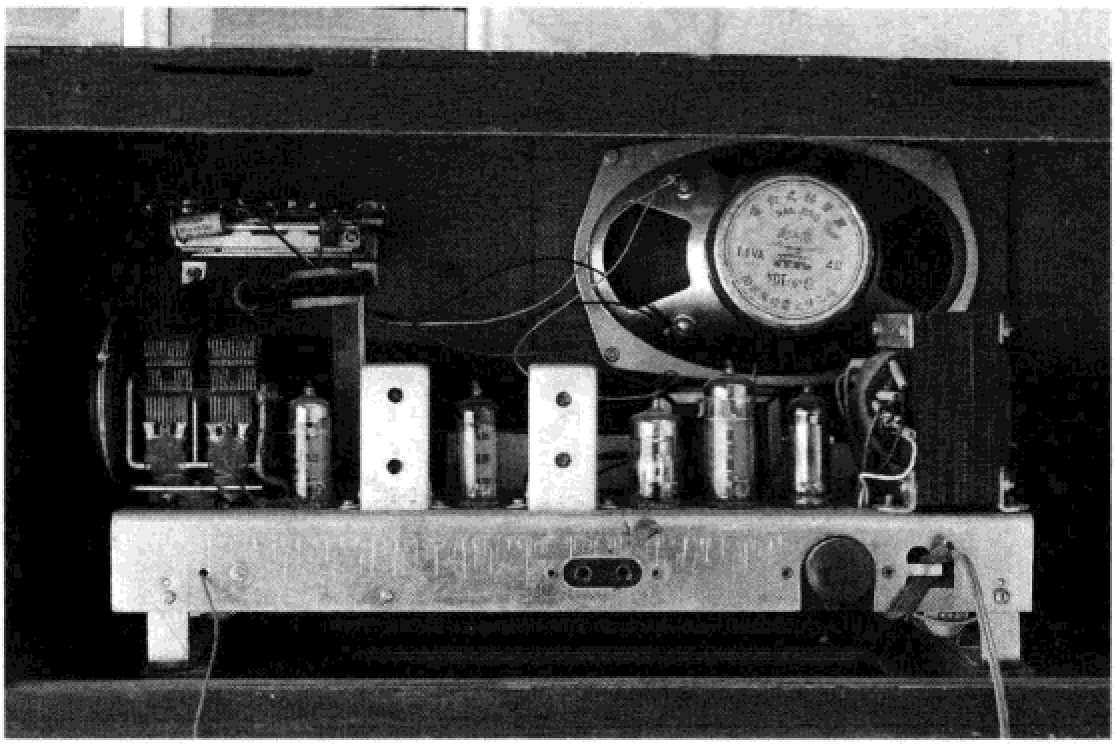
——我玩电子管收音机

◎张建雄



20世纪初，电子管收音机问世，人们进入了一个新的时代。1923年1月23日，美国人在上海创办中国无线电公司，播送广播节目，同时出售收音机（以美国出品最多），其种类有矿石收音机和电子管收音机。从此在中国的大地上便有了电子时代的产品——电子管收音机。

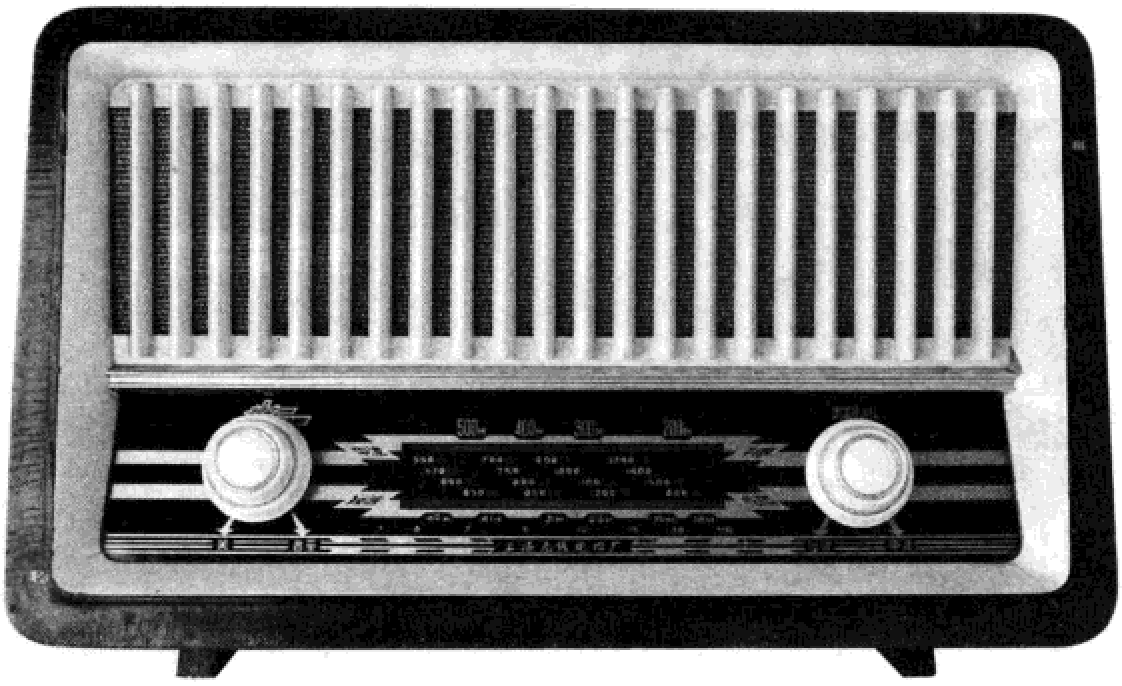
电子管是一种在气密性封闭容器（一般为玻璃管）中产生电子流，利用电场对真空中的电子流的控制以获得信号放大或振荡的电子器件。早期应用于电视机、收音机、扩音机等电子产品中，后来逐渐被晶体管和集成电路所取代。但目前在一些高保真音响器材中，仍然使用电子管作为音频功率放大器件。虽然电子管有着体积大、功耗大、发热严重、寿命短、电源利用效率低、结构脆弱而且需要高压电源的缺点，但是电子管负载能力强，线性性能优于晶体管，用电子管作音频放大的机器声音好于晶体管，所以很多收音机爱好者仍然喜欢电子管收音机。



红叶收音机内部

在20世纪80年代以前，收音机是家庭主要的娱乐用具，当时的收音机并不便宜，比较富裕的家庭才能买得起。我国改革开放以后，随着电子技术的飞速发展，录音机、电视机、音响、电脑逐步取代收音机成为家庭的娱乐用具，收音机渐渐退出了人们的视线，特别是电子管收音机已经不再生产。最近几年，由于网络和物流的发展，在广播收音机爱好者中，兴起收藏电子管收音机的热潮，我也和大家一样，通过网络购买和收藏了不少电子管收音机，终于圆了儿时拥有电子管收音机的美好梦想。

在拥有电子管收音机前，我已经购买收藏了不少晶体管和集成电路数字调谐收音机，但总觉得少了点什么。看着网络上不少收音机爱好者在高兴地谈论电子管收音机的特色，勾


凯歌收音机

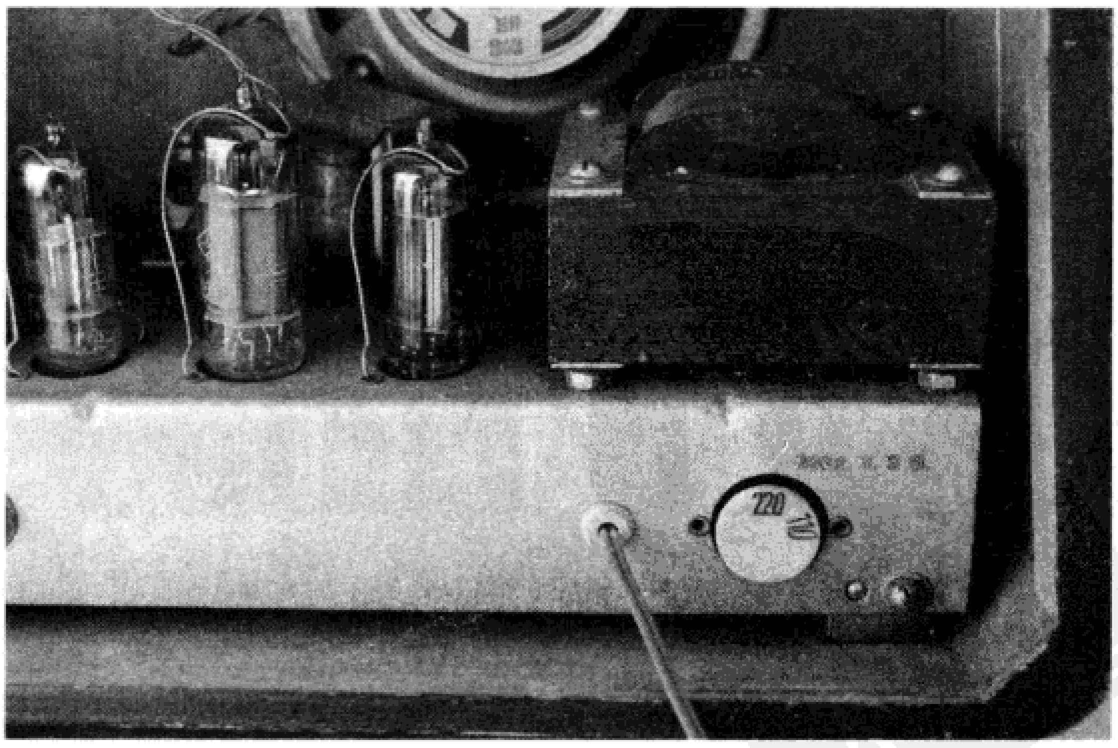
终于有了自己的电子管收音机了，可以自己动手把玩电子管收音机，亲耳聆听电子管收音机那令人神往的韵味了。紧张的是，第一次玩电子管收音机，没有经验，有点怕出问题，再就是度盘和电子管都给卖家拆下来邮寄，现在要重新安装回去，怕不小心弄坏了玻璃度盘和电子管。带着紧张而高兴的心情，开始走上了玩电子管收音机的爱好者之路。收到包裹后首先是小心翼翼拆开包装，然后仔细检查收音机及度盘和电子管有没有损坏，再则看看零部件(如螺丝、旋钮等)齐全不齐全，检查无误，就着手把电子管收音机安装起来。先是安装度盘，用螺丝刀把机器底部固定机芯的4个螺丝取下，再慢慢把机芯从外壳中取出，把玻璃度盘按原位置放进机壳前脸下部，用木螺丝和小木块固定好度盘，安装好后用手轻轻推度盘，没有松动就安装好了。在安装度盘的时候要格外小心，不要弄坏了度盘，因为玻璃度盘是很难配的。

起了我购买收藏电子管收音机的情结，通过收音机论坛不断了解当时电子管收音机的行情，询问爱好者同行购买什么样的机器比较好，如何购买比较方便稳妥等。通过一段时间的观察和了解，我掌握了购买电子管收音机的一些要领，终于决定先买一台比较普通的电子管收音机来玩。由于笔者地处广东的小城市，市场上基本见不到电子管收音机的踪影，无奈只有在网上寻找电子管收音机，那一段时间，我大多在收音机论坛和淘宝网上溜达，查找、对比各种品牌、款式、型号的电子管收音机，有一天在淘宝网上找到一款红叶751-3型电子管6灯机，价钱也不贵，经与卖家讨价还价，以135元的价格成交。

卖家是辽宁人，做了好几年的二手电器生意，对包装、发运大件易碎电器比较有经验。电子管收音机在运输中，最容易损坏的是前面的度盘和电子管，这两个部件都是玻璃做的，稍有不慎就会在运输途中损坏，所以包装、邮寄电子管收音机是个技术活，里面的学问不少。从我收到电子管收音机来看，卖家的包装很到位，收音机的度盘是拆下来单独用2片薄木板夹好固定，然后再用泡沫包装并固定在收音机的外壳上，电子管全部取下，每个电子管都用海绵包一圈后放在一个小纸盒里，再往纸盒空余的地方塞满海绵，使电子管之间没有空隙。整个机器用很厚的泡沫包裹，外面再用厚纸箱包装，打上包装带，凭着这样比较安全的包装，一部电子管收音机终于安全到了我家。

第一次买到电子管收音机，心情自然既高兴又紧张，高兴的是，我

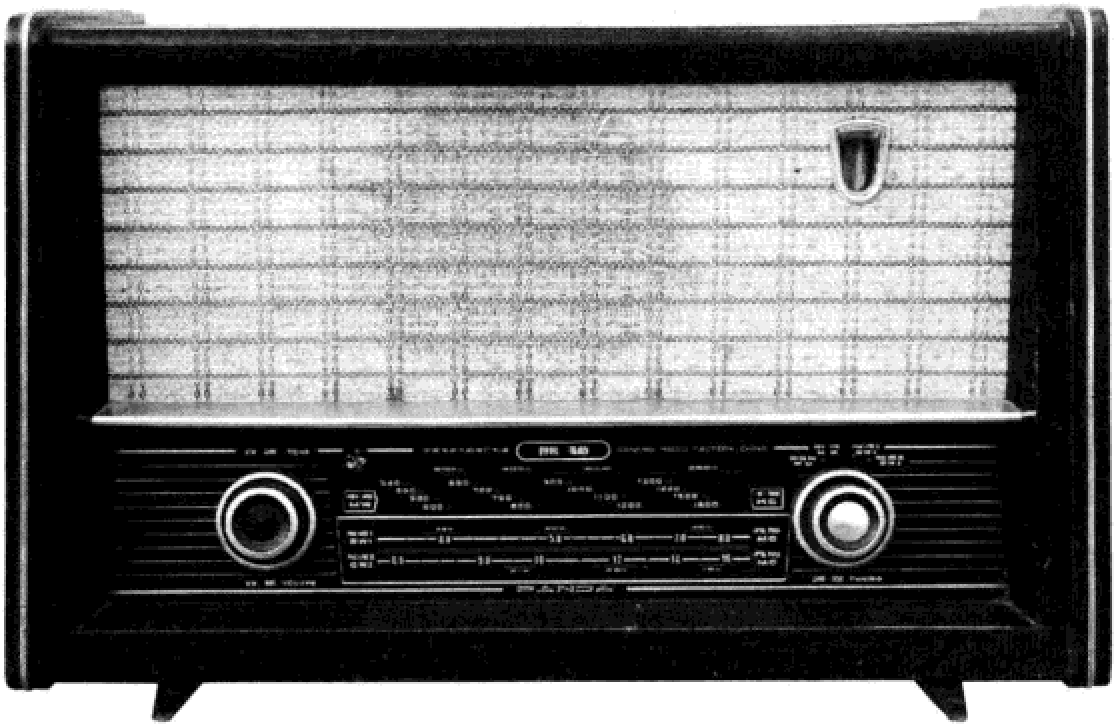
安装好玻璃度盘后，要把整个机芯重新装回机壳里，拧紧固定机芯的4个螺丝，插好电子管，调整调谐指示电子管6E2的位置，使6E2的显示



凯歌收音机内部

面对准度盘上的调谐指示的位置，再逐个检查各个电子管是否有松动。如发现有电子管松动，则要插紧，再目测其他的元件有没有脱落、碰脚的情况。如果没有发生元件脱落，碰脚，就可以试机了。试机时，先不要装上后盖板，以方便观察机器的开机后的情况。把机器的电源插头插进220V的交流电源插座，顺时针轻拧电位器开关，听到清脆“滴”声，表示电源开关接通，再慢慢将电位器旋至五分之二音量，稍等十多秒，收音机扬声器缓缓传出来声音。如果这时收音机的调谐位置不在广播电台发射的频率上，扬声器出来的是很小的噪声。收音机能出来噪声，说明机器能通电工作了。接着将电子管收音机的波段开关转到中波位置，再旋动调谐旋钮，旋到1170kHz的位置，收音机接收到了本地中波强电台的广播，左右慢慢旋动调谐旋钮，使调谐指示电子管6E2（俗称猫眼）的指示条达到最大值，扬声器里播放着嘹亮的广播声音。

由于平时听惯了晶体管收音机的广播，这时候听电子管收音机的广播声音，给我一种耳目一新的感觉。这台红叶电子管收音机使用6P1作单管功率放大，其输出功率可达3.8W，机器使用的是1.5W椭圆形大纸盆扬声器，声音宏亮有力。当音量电位器开到二分之一处，在25m²的客厅就能感觉很大的声音。电子管收音机也有人叫“胆机”，原因可能是粤港有人叫电子管为“胆”，用电子管做的收音机就叫“胆机”，电子管收音机放出的声音叫有“胆味”。用电子管制作的功放，其显著的优点是声音甜美柔和、自然关切，尤其动态范围大、线性好，有一种黄玫瑰般温柔厚实、甜腻动人的韵味，特别适合于播放田园诗般舒缓优雅的古典音乐和中国民乐，所以电子管收音机的音色几十年来一直脍炙人口，神奇的“胆味”使



熊猫收音机

人流连忘返。每当我望着点亮灯丝犹如闪闪红灯的电子管，再呷上一口清香的凤凰茶，聆听着收音机扬声器里流淌出的广东音乐，喜悦的心情无言以表。

电子管收音机由于生产的时间较早，那时我国国内基本没有调频广播，所以国产的电子管收音机基本上不带调频波段的接收功能，只有中波和短波接收功能，有些电子管收音机的短波分成两个波段，收音机就成了三波段收音机了。另外，为了使电子管收音机能与当时比较流行的电唱机匹配，电子管收音机都设置了“拾音”输入功能，通过转换开关就可以使电子管收音机成为电唱机的音频放大器并通过收音机的扬声器放出声音。我的第一台红叶牌电子管收音机是二个波段的机器，机器的性能做得中规中矩，灵敏度和选择性都能满足基本的收听要求。设置有琴键式的音调开关，可以在收听音乐节目时，选择高、中、低音，以适应不同的音乐收听需要。

购置了第一台电子管收音机，使我品尝了电子管收音机的“胆味”，满足了从小就萌生的玩电子管收音机的愿望，圆了拥有电子管收音机的梦想。因为电子管的寿命只有几千小时，所以玩电子管收音机的爱好者都储备有数量不少的电子管，既可作为替换损坏的电子管之用，也可在玩机的时候利用电子管之间的性能差异，通过更换电子管来改变收音机的性能，以达到玩电子管收音机的目的。我在购买电子管收音机后，也在网上收音机论坛和淘宝网购买了不少电子管，如6A2、6K4、6N2、6P1、6Z4和6E2等，都是电子管收音机通用的。在有兴趣时，通过更换变频管6A2和中放管6K4来改变收音机的高、中频状态，从而改变收音机的接收效果，也从中得到玩机的乐趣。更换6N2、6P1管可体验收音机的音质变化。

通过一段时间的玩机，我觉得只有一部电子管收音机还不能满足玩机的要求，又在网上购买了红灯711-3电子管收音机、凯歌593-2电子管收音机、熊猫601-3电子管收音机等，其中凯歌593-2、熊猫601-3机是20世纪60年代生产的电子管收音机，很有收藏价值。

玩玩高性能收音头

◎梓门

收音头（tuner）又称为调谐器，是没有前级与功放的高性能收音机。在CD机普及之前，FM广播一度是Hi-Fi音响的主要音源之一，只有在顶级音响系统中，传统的黑胶唱片才能和它平起平坐。在收音头走红的时代，高性能的收音头几乎是所有音响爱好者的最爱，对当时的大部分爱好者而言，是一件可望而不可及的事情。之所以说“高性能”而不是“高级机”是因为“高级机”曾经是收音机的一个等级标准，那时我们国内几乎就没有生产过达到“高级机”标准的收音机，更不用说是收音头了。

如今，利用网络的便利，我们有幸可以淘到一些高级的二手货，这其中也有收音头，30～60元人民币能买到一台准收音头，80元左右就可以买到收音头，这对于我们这些有玩心、好动手的人还是值得考虑的。何谓准收音头？就是高档组合音响里的“收音头”，是按照收音头的要求设计生产的，但因为是与音响组合配套的，就省略了市电电源变换电路，即没有市电变压器，从组合音响中的其他部分获取低压电源（通常是从功放）。

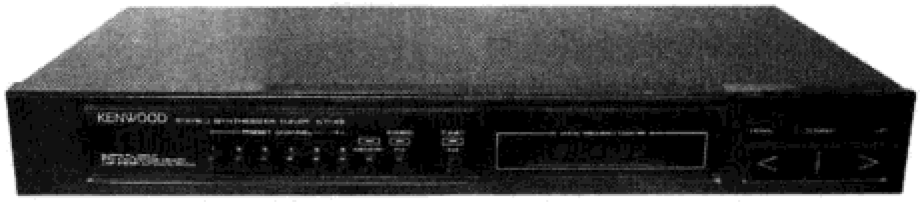


图1 建伍KT-48准收音头

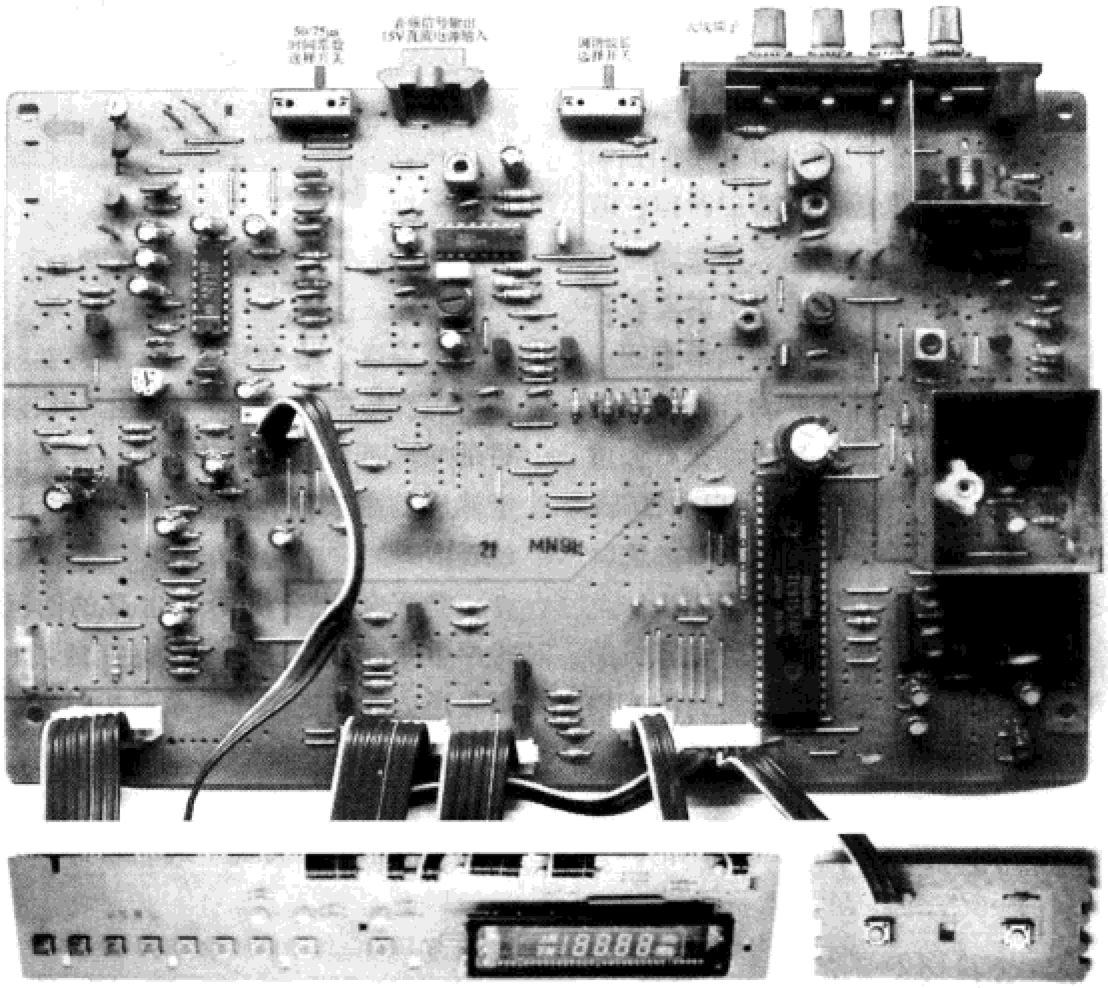


图2 建伍KT-48准收音头的电路构成

如今数百元收音机具有的优势

1. 海量存台，功能丰富。一般数百元的收音机能预存几十个乃至数百个电台并有丰富的附属功能，如时间显示、温度显示、闹钟、录音等。

2. 高集成度，集成度高了，能够降低成本，提高可靠性，减少外围电路的复杂程度，手机和MP3中的收音IC，使用了数字接收技术，连外围元件也不需要了（调谐控制电路除外），有些商业宣传因此宣称采用了“软件无线电”技术。所谓数字接收，只是把超外差接收技术数字化了，并不是接收数字信号，换言之，还是模拟广播信号的接收技术而不是接收数字广播信号。

收音头/准收音头与数百元的收音机相比，短处何在？

1. 没有功放和前级，也没有扬声器，使用上多有不便，尤其是不便携带。

2. 功能少，波段少，除了FM、AM波段，很少有短波接收功能的，部分中档的收音头，可以接收电视频道伴音。对二手收音头来说，尤其是存台少，越老的产品，存台越少，如今国内能淘到的便宜收音头，一般是每个波段存台5～10个。

尽管如此，如果要追求广播信号的接收品质，要想在接收器材上玩出名堂、玩出花样来，选择收音机还是收音

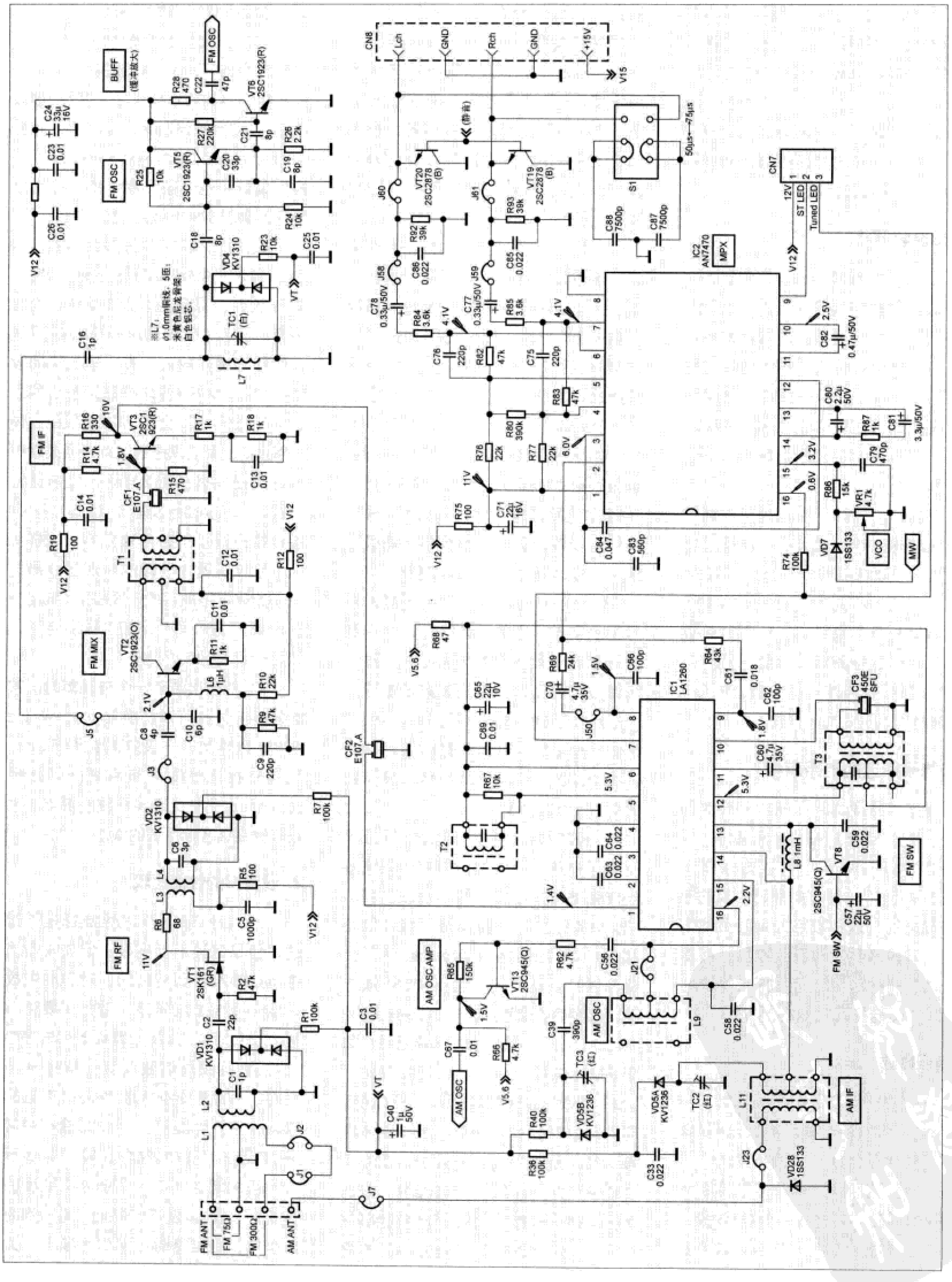


图3 建伍KT-48准收音头收音信号通道的电路原理图

头（哪怕是准收音头），显而易见的答案是后者。如今网上60元左右的收音头/准收音头有山水TU-S607、马兰士ST150、松下ST-DN7等，当然这个价位的收音头有些是日本频率，需要改频，有些是110V市电电源，需要改电源（另配电源，当准收音头好了）。

KT-48准收音头

图1所示的是笔者从网上淘到的一部建伍的KT-48准收音头，不含运费的价格不到40元人民币，这款收音头在建伍好几款组合音响中都能见到它的身影，如KAX－48、688CD等。如果你对收音头或者打算对收音头产生兴趣的话，不妨与我一起仔细探究一下这部准收音头。

图2所示的是KT-48的内部电路，包括三块电路板。最大的一块是主电路板，包括数字调谐电路与收音信号通道，一大一小的两个长条形的电路板是按键与显示电路板，位于前面板里侧，小块的电路板上主要包括两个按键，是手动调谐用的，即UP（向上）和DOWN（向下）搜索。

收音信号通道的电路原理

收音信号通道包括FM/AM高放、中放、鉴频/检波、FM立体声解调，电路原理图如图3所示，图中电压测试点的电压是用DT-830B型数字万用表的电压挡测得的，这种数字万用表虽然很便宜，买回来经过自己校准后，在需要读数精确的时候还是很好用的。另外，本文电路系手工抄板绘制的。

1. 原理概述

FM波段用了3对变容二极管，相当于3联可变调谐电容。为了获得足够的电容变化量，以当时的技术条件，FM波段大都会用两个背靠背的变容管当作一联可变电容使用，而AM波段，单个变容二极管就可以充当一联可变电容。从图3不难看出，AM波段用了2个变容二极管充当两联可变电容。换言之，这部AM/FM双波段准收音头相当于使用5联可变电容，而在收音机中，常见的则是四联可变电容；在高档的收音头中，笔者目前所知，仅FM波段，最多就有用9联的，不过，在AM波段，还是以双联为主。

FM波段的高放电路由分立元件构成，这也是收音头的一个典型特征：收音头与准收音头中的FM高放电路很少会采用IC方案。FM的高放电路所用的3对变容二极管，1对（VD1）用于天线输入回路，一对（VD2）用于混频（FM MIX），一对（VD4）用于本振（本机振荡器，FM OSC），而且本振有独立的缓冲放大级（BUFF）。FM高放电路的第一级（FM RF）采用了结型场效应管，混频级是共基极电路，所以本振信号通过J3送到了VT2（2SC1923）的基极。VT2型号后的括号里的字母是它的β分级标识，它表征的是这个晶体管的放大能力，对于场效应管而言，类似的参数是跨导，一般用S或者Y_{fs}表示，不过，VT1型号后的括号里的字母表示的是I_{DSS}，即共漏极电路的漏极电流典型值，具体到VT1，I_{DSS}为5～10mA。

由VT3构成的FM IF电路实际上是一级预中放，VT3输出的FM中频信号经陶瓷滤波器CF2送到了IC1的1脚。IC1（LA1260）内部集成了1级FM IF和QD（Quadrature Discriminator，正交鉴频器）以及中放AGC和其他附属电路。鉴频后的信号经C70、R69送到IC2（AN7470）的2脚进行立体声解调（如果是MPX信号的话），然后经IC2的6、7脚输出模拟音频信号，6、7脚的阻容元件就是常数的去加重网络。立体声解调其实是很中文化的说法，在外文资料中，更多的称之为MPX信号，解调也称为MPX解调，相应的IC也称为MPX IC。一般认为MPX是“Multiplex”的缩写，指没有解调的单声道FM信号。

IC2可以外接可调电阻进行立体声分离度调节，不过在图3中，用一个固定电阻（R80）替代了。在AM接收状态，IC2会被强制单声道状态，并且VCO（Voltage Controlled Oscillator，压控振荡器）也会被强制停振，控制信号来自调谐控制电路，从VD7注入。

IC1与IC2是与AM波段共用的，而且IC1包含了AM波段的所有接收功能，即RF放大、混频、本振与检波，而立体声解调IC（IC2）对AM波段而言只是一级线路缓冲放大。在比较高级的收音头中，AM/FM波段往往是各自独立的，AM信号也不会借道FM波段的立体声解调IC，两者只是通过继电器或者电子开关在模拟音频信号输出之前进行切换。IC1的AM检波输出（9脚）与FM鉴频输出端子是各自独立的，这样可以分别设计两个波段的带通滤波器，出于简化电路的目的，图3所示电路，分离输出的信号在外部又被混合了，然后一同送到IC2的2脚。

IC2的输出端有一个去加重时间常数转换开关，可以切换75μs、50μs两种时间常数，一般应该选择75μs，后级有杜比降噪录音系统的则选择50μs。这是杜比降噪系统的要求，也是当时高级音响系统的做法。

2. 收音IC的性能比较

LA1260与AN7470素质都是不错的，但是还谈不上高级，但在收音机中也是很难见到它们的。对于高中放与检波/鉴频电路而言，我们主要关心接收灵敏度、SNR（信噪比）与THD（检波/鉴频总谐波失真）等指标，表1所示的是便携式收音机中常见的CXA1238单片收音IC、台式收音机中常见的TA2057与LA1260的比较，G_{V1}表示高放级的增益（决定了接收灵敏度的高低）。表1以及表2中的V_{CC}与I_{CC}均为典型值，在维修时可以作为参考。另

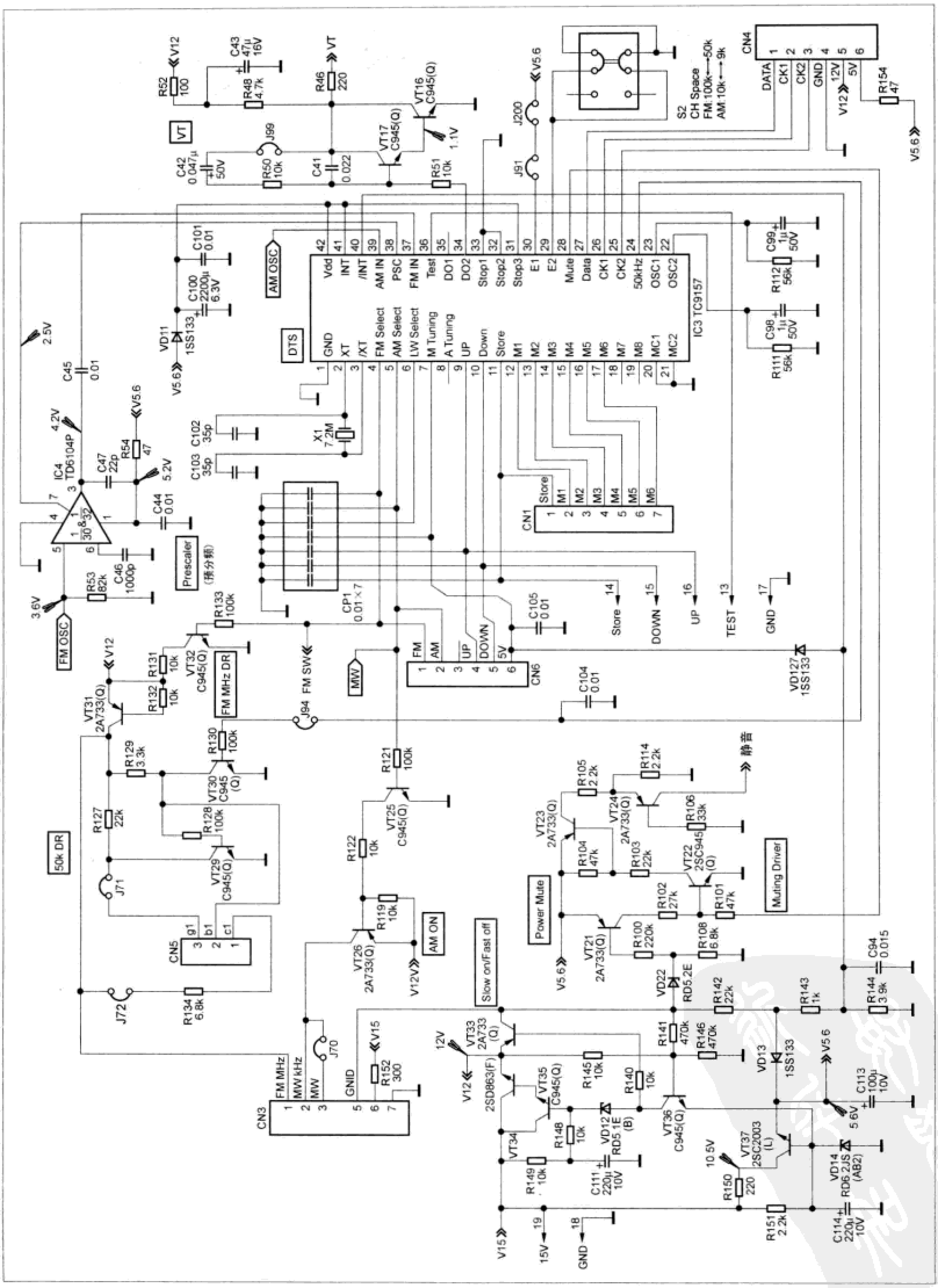


图4 建伍KT-48准收音头数字调谐与电源的电路原理图

表1　一些应用在收音机中的IC性能比较

项目 型号	V_{CC} (V)	I_{CC}(mA)		SNR(dB)		THD(%)		α (dB)	G_{V1}		封装	制造商
		AM	FM	AM	FM	AM	FM		AM	FM		
LA1260	4.5 V	7.5	8.5	53	81	0.45	0.05	不适用	28 dB	不适用	DIP-16	SANYO
CXA1238	6V	19.5	19.5	不详	不详	0.6	0.1	40	24 dB	35 dB	DIP/SOP-30	SONY
TA2057	5V	20	20	45	70	0.5	0.2	不适用	不适用	不适用	DIP/SOP-24	TOSHIBA

表2　一些MPX IC的比较（f＝1kHz，CB：通道增益允差，CL：载波泄漏）

项目 型号	V_{CC} (V)	I_{CC} (mA)	SNR （dB）	THD		α (dB)	CB (dB)	CL		封装	制造商
				立体声	单声道			19kHz	38 kHz		
AN7470	12	18	85	0.04%	0.02%	55	<1	26dB	26dB	DIP-16	Panasonic
TA7343	8	11	74	0.08%	0.08%	45	<1.5	34dB	42dB	SIP-9	TOSHIBA
LA3450	13	29	101	0.015%	0.005%	60	<1	53 dB	50 dB	DIP-28	SANYO

外，表中的技术参数均摘自原始制造商的技术文档，现在的兼容型号可能会与之有细微不同。

对于MPX IC，最值得关注的是其立体声分离度（α），表2所示的是收音机中常见的TA7343与AN7470的比较。爱好者们一般将LA3450以及与之引脚兼容、性能相当的CXA1064奉为上品，也一并列于表2。

数字调谐与电源

这部分电路如图4所示，这部分电路与图3所示电路都位于主电路板上。

1. 数字调谐专用IC

早期的数字调谐系统采用的基于单片机内核的专用集成电路，与现在的数调收音机所用的新型IC相比，存台数量少，附属功能也少，但工作稳定，能够自复位，不需要额外的复位键。KT-48上所用的TC-9157的上市年代比较早，不太常见，功能也更为简单，没有集成预分频电路与显示驱动电路，所以在图4中有一个预分频IC（IC4，TD6104），在图5中包含了显示驱动IC（IC1，TC6301）。

相对比较常见的早期数调专用IC是TC9307、TC9317等，这些专用已经包含了LCD显示驱动电路，并且键控电路采用了矩阵方式，能够用比较少的引脚实现比较多的功能，如记忆更多电台等。这类专用IC的共同特点是均包含了PLL与键控电路，具备ATS（Auto Tuning Search，自动搜索）功能，可以自动搜索电台并存储，掉电也不会丢失已经存储的信息。

顺便说一句，虽然TC9157具备自动搜索功能，但是KT-48将其简化了，实际上只有手动搜台功能，这也恰巧成为可以简单摩机的一个点。

2. 预分频电路

上述专用的数调IC一般是采用CMOS工艺制造的，个别的会包含PMOS逻辑电路，即基于P型场效应管的CMOS逻辑电路，无论是CMOS还是PMOS，FM波段以及SW波段的高端频率都已经超过了它们的特征工作频率，所以需要将上述本振频率降低后再交由数调控制IC使用，这就是预分频电路。图4所示的电路所采用的TD6104也不太常见，数调系统中常见的预分频IC有TD6314、TD7101、TD7103等，均为TOSHIBA（东芝）的产品。

3. 整机电源电路

KT-48的供电电路全部由分立元件构成，稍嫌复杂。外部15V直流电源输入以后，分成三路，一路送到R152，降压后为显示屏提供约2V的显示电源，一路送到VT34、VT35组成的达林顿管，以这个达林顿管为核心组成的串联稳压电路为整机提供12V电源，不过这个串联稳压电路的基准电压不是一个稳压管提供的，而是两个稳压管，即VD12和VD14，同时这个串联稳压电路的基准电压回路中还串联有一个电子开关VT36，由TC9157送来的信号控制12V电源的延时供电，第三路经R150送往VT37构成的串联稳压电路，为整机提供5.6V的稳压电源，TC9157使用的就是这一组电源。

实测R152上的压降将近12V，由此不难算出电流将近40mA，占了整机电流的三分之一（整机电流实测为115mA），这也是本机可以简单摩机的一个点。

显示与键控电路

电路原理如图5所示，实际电路则位于图2中的两块长条形小板上，同时，图5还显示了主要器件的引脚定义与实物外形。

图5中的TC6301是基于I^2C总线控制的字段型显示驱动IC，内含3组7段显示驱动电路，图5中的J4与图4中的CN4相连，其他以此类推。J4从数调专用IC获得I^2C格式的显示信息，其中AM/FM波段是分别传送的，所以有两路时钟信号，即CK1与CK2，送到TC6301进行解码变换成并行的驱动信号，驱动FL1中的数字。不过TC6301是通用型IC，输出端口也有限，所以静态信息单独从CN3用并行方式送到J3，用来显示AM/FM波段符号及其对应的频率单位和小数点，阳极（荧光粉层）和栅极

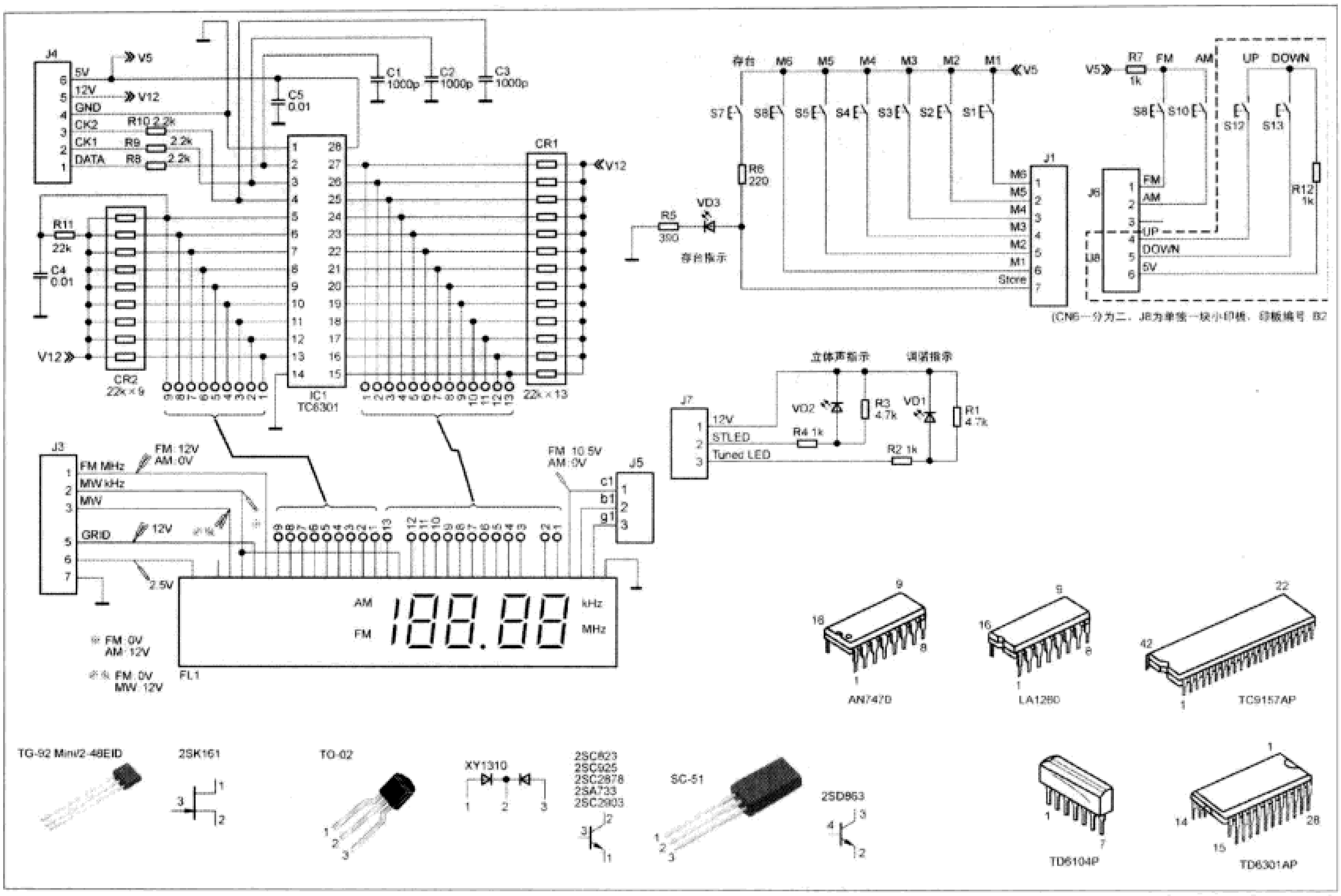


图5 建伍KT-48准收音头显示与键控部分的电路原理图

偏置则送到J5。

FL1是VFD（Vacuum Fluorescent Display，真空荧光显示屏）器件，可以显示多种颜色，KT-48用的是单色的，阴极为直流供电，因为栅极和阳极的电压会因为图案末端对应的阴极（灯丝）电压的不同而变得不同，所以这种直流供电的阴极（灯丝）需要进行特殊设计，也只是用于小型的VFD。

另外，图4中还有一个调谐步长选择开关，对于FM波段而言，因为刚好是整数倍，50kHz或者100kHz的调谐步长对国内的用户而言没什么关系（国内用的是100kHz）；不过对于AM波段而言，如果选择了9kHz的调谐步长（国内用的是10kHz），会影响搜台的数量甚至会收不到台。

虽然收音头/准收音头的波段一般比较少并且不便携带，但是当你拥有一部收音头后，你就一定会开始对自己手中的收音机“横挑鼻子竖挑眼”，也更能体会到即使是数字音源时代，调频广播节目仍然是一种不错的Hi-Fi音源，尤其是对于所谓的“草根”阶层而言就更是如此。即使是从收藏的角度、探究电路原理的角度而言，也远比新上市的收音机更有意义，性价比也更高。

最后给出KT-48的参考技术规格：

◆接收频率范围：FM：87.5～108MHz；MW：530～1600kHz（10kHz步长）/531～1602 kHz（10kHz步长）；

◆FM波段可用接收灵敏度：1μV（75Ω，天线输入阻抗，下同）；

◆实用接收灵敏度：FM（DIN，75Ω）：0.75μV（单声道）/31.5μV（立体声），MW（IHF）：300μV（环形天线）；DIN（Deutsche Industrie Normen）是德国工业标准，曾经被业界广泛认同的标准，IHF（Institute of High Fidelity Manufacturers，Hi-Fi制造商学会，也作IHFM）则是国际行业标准。

◆信噪比：FM（DIN）：66dB（FM，单声道）/60dB（FM，立体声），MW：50dB；

◆FM波段THD：0.4%（立体声）；

◆FM波段立体声分离度：45dB（1kHz）；

◆FM波段天线输入：75Ω单端/300Ω平衡；

◆MW天线：环形天线；

◆整机供电与功耗：DC 15V，150mA；

◆外形尺寸：420mm（宽）×220mm（深）×62mm（高）。

业余卫星通信是业余电台爱好者的高端通信试验之一，国际上业余卫星在太空遨游已经有很长的历史。我国首颗业余卫星已成功发射，业余卫星通信再次受到广大 HAM 的关注。利用业余卫星，业余无线电爱好者可以通过超短波进行远距离通信，这种通信往往是跨国界的，与短波的远距离 DX 通信一样，别有一番趣味。除了业余卫星，地面的业余卫星通信设备还可以与宇航空间站的业余电台进行通联。想玩业余卫星通信，器材是基础保障，本文就重点给大家介绍一下业余卫星通信需要的相关器材。

业余卫星通信设备选购指南

◎杨法（BD4AAF）

业余卫星通信基础知识

我们首先简单了解一下业余卫星通信基础知识以及与目前商用卫星的区别，这样有助于我们对卫星通信器材的理解。

业余卫星通信模式与中继台的通信类似，我们可以简单地理解为，业余卫星通信就是把中继台从地面固定点搬到了卫星上，而且卫星是不断与地面相对运动的。目前，业余卫星通信频段以144/430MHz超短波为主。通常，地面上行频率采用144MHz频段，并附加模拟亚音，卫星转发下行采用430MHz波段。很多业余卫星提供线性转发器，使用单边带SSB方式和等幅电报CW信标。近年来，考虑到地面器材的易用性和普及性，所以语音通信开始增加使用对讲机常见的FM（16K0F3E）调制模式转发器。由于卫星在高速移动中会出现多普勒效应，也就是说通信频率在传播过程中会发生偏移/变化的问题，这时如果地面设备具备频率微调，甚至频率自动跟踪功能，就能克服这个问题，所以专为业余卫星通信设计的设备大多具备频率微调功能。目前主流的商用卫星使用的通信技术比业余卫星高得多，一般商用卫星大量使用L波段和Ku波段，调制方式多采用BPSK、QPSK、8PSK、16QAM等数字调制，所以两者的设备从工作频段到调制方式都完全不一样，没有兼容性。

业余卫星往往都是单颗运行，为了资源共享，使全球尽量多的HAM都有机会用到，这些卫星都采用围绕地球运行的非地球同步方式运行。业余卫星转发器数量有限，往往FM语音通道（转发器）只有一个，而且限于电力供应，卫星转发器功率比较小，还不及手台全功率发射，同时天线限于体积，增益不高，再加上卫星离开地面比较远，信号传播受到云层和气团等影响，因此到达地面的信号强度不稳定。同时，上行信道中众多HAM争抢一个转发器，势必有大信号压小信号的情况，因此，地面足够强大的上行功率和较高的天线增益是业余卫星通信成功的有力保证。由此可见，高增益的天线和大功率的发射机以及功率放大器是玩卫星通信HAM发烧的必备法宝。

对于地面上的HAM来说，非地球同步的业余卫星将在特定时段从头顶上掠过，相当于一个在移动中的中继台，而且不同的业余卫星，运行轨道也是不一样的。对于使用定向天线的HAM，为了得到最佳通信效果，就需要使定向天线始终对准运动中的业余卫星，所以除了天线以外，需要一套具备转向装置和自动控制的追踪设备，才能最大限度地发挥定向天线的威力。由于商用卫星采用的地面上行频率比业余高得多，所以较多采用高增益的抛物面天线，但抛物面天线对于144MHz业余频率来说体积太大了，所以八木天线依然是HAM业余卫星通信的主流天线。

商用卫星中有相当部分是地球同步卫星，所以不需要考虑天线转向和追踪问题。部分非地球同步的商用和军用卫星抛物面天线需要使用专业转向系统，虽然专业转向系统也可以改制搭配业余八木天线阵，但专业转向系统的价格非常高昂，远比业余电台个人使用的三维转向器贵得多。

业余卫星通信设备选购

由上面卫星通信的基本知识我们可以了解，其实符合业余卫星通信要求设备的门槛很低。如果是玩提供FM语音转发器的卫星，如UO-14，那么，最简单的一部双频段手持对讲机理论上就能完成卫星通信。一般HAM家里的普通双段车载台和普通垂直天线，如DIAMOND X50/X510，也都能完成卫星通信。

本文要介绍的是相对比较专业的设备，以期可以得到业余卫星从地平线升起到最终落下的最大通信时间和可以争抢过众多上行用户的优势信号。

图1 Icom IC-910H

图2 KENWOOD TS-2000

收发信机

业余卫星发烧友往往会使用多颗不同的卫星，这就需要收发信机具备广泛的兼容性。推荐的适应卫星通信的收发信机应具备以下基本特性：具备多频段工作、多调制模式、频率微调、高输出功率、高接收灵敏度。

业余卫星主要工作在144/430MHz业余波段，所以收发信机需要支持至少双波段并具备双频段交叉工作的能力，即机器可以在430MHz频段收听，当PTT按下后自动切换到144MHz频段发射。如果你的设备具备双工功能，那么你在144MHz上行频率呼叫的时候就能同时在430MHz下行信道中监听信号转发的情况，也就是你的呼叫是否被成功转发以及转发信号的语音品质，你可以由此决定是否需要继续提升功率和改变天线的角度。很多业余卫星要求144MHz上行信号叠加模拟亚音，所以发射机必须具备基本的亚音编码功能，有的机器也称为“Tone”。

不同的业余卫星转发器需要使用不同的调制模式，目前主流的是FM调制，收发信机具备多模式就能适应使用不同业余卫星和不同转发器的需要。频率微调是适应多普勒效应的一种手段，一般要求调谐步长不大于100Hz为宜，普通对讲机最小调谐步长为5kHz，显然太大了一点，一些高档器材具备频率自动跟踪功能，使用起来更为方便。有的设备可以与电脑连接在软件的计算下自动补偿偏移频率。

高功率输出是在天线增益固定情况下获得更强发射信号的基础，高功率型设备可以免除使用独立功率放大器的麻烦。配置比较专业的地面站通常使用独立的144MHz和433MHz天线，所以收发信机如果具备144/430MHz分离天线端口设计会给连接天线带来诸多方便。如果用户实际使用到双波段的天线可以通过混合器Mixer（俗称“合路器”）将V/U分离端口合并成单端口。

目前市场上专为业余卫星通信设计的机型主要有 Icom IC-910H 和 YAESU FT-847 以 及 KENWOOD TS-2000。YAESU FT-847 虽然包含短波功能，但该产品已经停产，市面上销售的基本都是库存机和二手机。此外一些多波段多功能电台如 Icom IC-7000、YAESU FT-897D/857D 也适合作为卫星通信之用。

Icom的IC-910H作为业余卫星用机，具备144/430MHz双波段双通道接收功能，可交叉波段工作，并有专门设计的卫星模式，支持FM、SSB、CW多种工作模式，提供接收频率微调功能和专用旋钮，在接收微调模式下SSB模式10Hz步进微调，FM模式50Hz步进微调。IC-910H输出功率在144/430MHz达到100W和75W，并且连续可调，即使不用功率放大器也算超大功率输出了。IC-910H天线端口分144MHz和430MHz频段独立输出，可以分别连接不同频段的专用高增益天线，也方便连接单波段的功率放大器（通常业余卫星通信只需要一个波段发射）。IC-910H设计具有较高的灵敏度，并且还提供手动控制的预置信号放大和衰减功能，方便适应不同信号状况。

KENWOOD的TS-2000是一部包含短波和超短波的多功能高性能电台。TS-2000的短波和超短波性能都非常出色，配合业余卫星使用TS-2000有专用的卫星模式。TS-2000可在144/430MHz波段工作，在SSB模式下可1Hz步进调谐，在FM模式可10Hz步进调谐，并提供接收频率微调和发射频率微调功能以及专用旋钮。144/430MHz波段输出功率分别可达100W和50W并且连续可调，支持FM、SSB、CW、AM多种工作模式。TS-2000天线端口分双HF/144/430四个天线端口输出，U/V频段分开输出，便于连接单波段的高增益天线和单波段功率放大器。TS-2000也设计有可手动控制的预置信号放大和衰减功能以增加对不同强度信号的适应能力。

功率放大器

功率放大器可以进一步提升发信机的功率，获得更强的发射信号。卫星通信地面站真正需要的上行功率并不要求很大，但遇到众多 HAM 在同一信道争抢转发器，那么在天线性能固定的情况下只能靠功率了。业余电台用的功率放大器，用户往往要求产品具有多功能，能够适应多种调制模式和除卫星通信外的多种应用，如超短波 DX、EME。所以推荐的功率放大器应该具备以下基本特性：适合的频

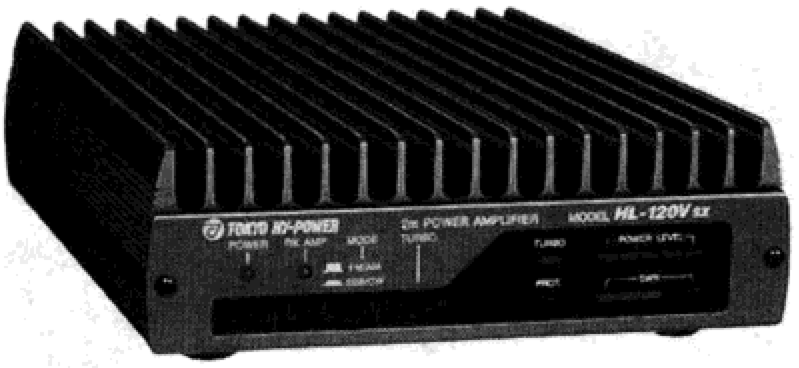


图3 TOKYO HY-POWER HL-120Vsx 144MHz功率放大器

率范围稳定的功率输出、具有收发切换功能、支持FM/SSB模式。有的功率放大器还额外提供低噪声前置放大器，这也是非常有用的功能。

选择功率放大器，首先要确定自己需要使用的功率等级，输出功率越大的功放，价格越贵，而天线、馈线、混合器等可以承受的功率在设计时都有自己的上限。其次，注意功放需要的推动功率范围要与所搭配的收发信机匹配，过小的推动功率会使功放输出功率不足，过大的推动功率会使功放损坏。有的功放是为手台设计，内部有多级放大电路，只要几瓦发射功率就能推动。有的功放为高功率基地台设计，需要几十瓦的推动功能，用户应按需选购。有的功放上有输出功率指示，使用起来更为直观方便，尤其适合那些功率连续可调的电台，可以准确把握输出功率。最后，使用高功率放大器进行实际发射需遵守国家有关法规和注意电磁辐射安全。

具备收发自动切换功能的功率放大器连接收发信机后不会对正常的接收造成影响，如果没有收发切换功能，那么连接功放后将无法接收该通道信号。市场上大部分专业的纯功放都不具备收发切换功能！虽然在卫星通信方式上，144MHz波段作为上行通道，不需要接收功能，在144MHz射频通路上安装没有收发切换功能的纯功放不影响正常的卫星通信模式，但这样会缩减了电台的应用范围，相当于关闭了电台的144MHz波段的接收功能。由于SSB模式选不输出稳定持续的功率，与FM特性不同，所以为业余电台设计的功放往往会专门附加支持SSB工作模式的电路，通常在功放面板上会有一个FM/SSB切换开关。如果使用SSB模式信号去推动普通FM功放，容易出现收发切换不正常的情况。有些功放提供的低噪声接收信号放大功能，可以抵消功放线路串入系统带来的插入损耗，并在一定程度上提升接收机的灵敏度，在一些特定的条件下有一定效果。

市场上常见的为业余电台设计的超短波高功率型（100W以上）功率放大器主要有日本的TOKYO HY-POWER的产品。144MHz单段的高功率型有HL-120V（110W）、HL-180V（170W）、HL-200V50（200 W）。目前TOKYO HY-POWER推出新产品有HL-120Vsx（100W 140Wmax）、HL-350VDX（300W）、HL-500V（500W）。

HL-120Vsx 是TOKYO HY-POWER最新推出的一款100W级144MHz功率放大器，它在过去广受好评的HL-120V基础上做了一些改进，在保持HL-120V具有的低噪前置放大、输出功率LED条指示、高驻波保护、过压保护的基础上增加了140W极限功率输出的TURBO挡，LED驻波指示功能，5W/20W推动切换（适合手台或者车载台推动）内部功放单元也换成时下主流的场效应管。

天线

玩业余卫星的地面天线可简亦可专业。不需要大型的天线，最简单的四分之一波长天线也能用于卫星通信。比较专业的则有各种全向的对空天线和定向天线。全向对空天线的优点是全方向性，不用考虑信号方向问题，从而避免了复杂且昂贵的三维天线转向系统和自动追踪系统，而且对空天线的设计比普通玻璃钢高增益天线更适合收发位于地球上空的信号。缺点是天线的增益不易做高。常见的全向对空卫星天线有Eggbeater（俗称“打蛋器”天线）和四螺旋天线。“打蛋器”天线外形由两个十字交叉的金属环构成，有点像家用的打蛋器，故由此得名。市场上比较有名的成品有M2 ANTENNA SYSTEM公司的EB144 and EB432，这两款天线分别为144MHz和430MHz波段设计。

四螺旋天线是由两个矩形环成90度双边自然螺旋而成。其实，现在高档GPS接收机中采用的棒状四螺旋天线就是这种形式，接收效果较传统微带型GPS天线效果好。四螺旋天线的外型多种多样，有标准型外型看上去像麻花一样的天线，也有将螺旋天线做到玻璃钢罩子里，外型看上去像很粗的棒子天线，也有做成外型看上去像大小双十字，并可以像伞一样收拢的伞形天线（多应用于移动通信）。定向天线一般以八木天线为主，八木天线的类型除了常见的标准类

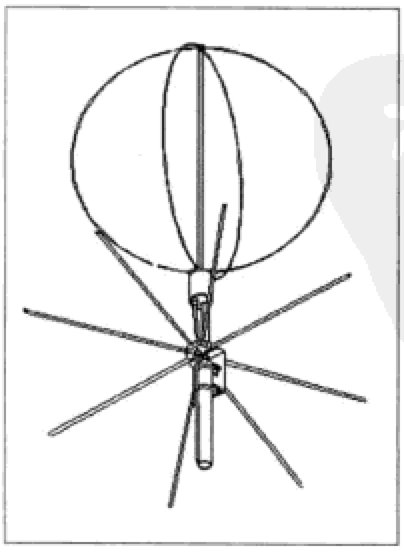


图4 M2 EB-144 打蛋器天线

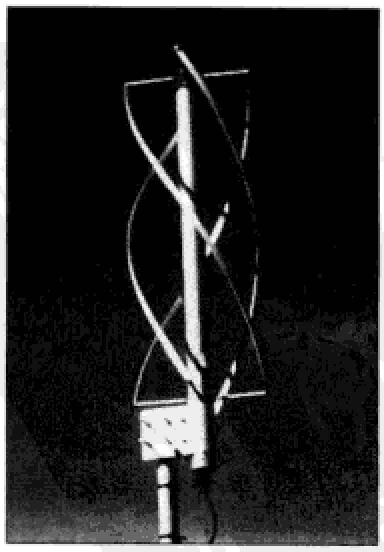
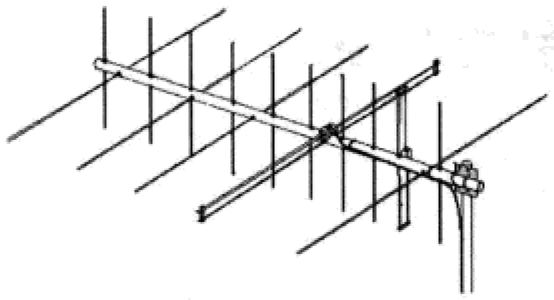
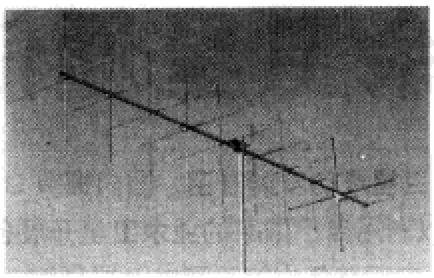
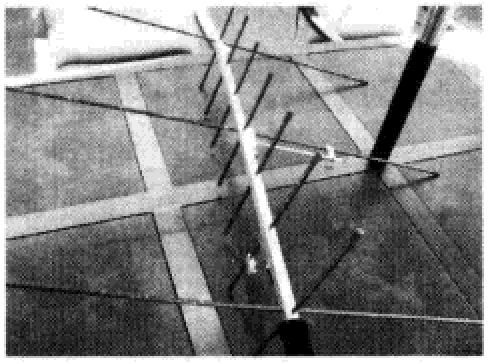
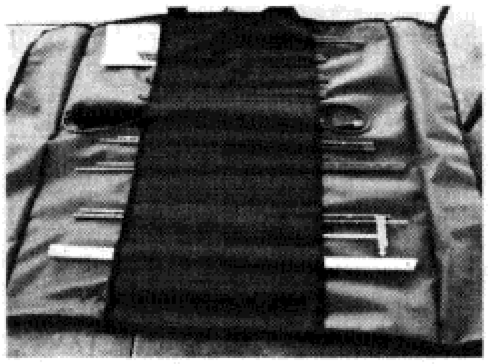


图5 四螺旋天线


M2 2M5-440XP


Cushcraft A144-20T


Arrow II Yagi Antennas 146/437-10


Arrow II Yagi Antennas 146/437-10 拆卸后

CREATE ERC5A仰角控制器

YAESU G-5500 三维转向器

CREATE AER-5 桌面控制器

型，还有十字交叉型八木天线、双频段组合八木等。从用途上分，有固定使用大型八木天线和手持式小型八木双频段天线。一般为了得到更高的增益基地台使用的卫星八木天线都具有相当多的单元，整体会很长，有时还采用双列阵和四列阵的形式。适合作为基地台业余卫星通信的定向天线：双频段八木成品天线主要有M2 ANTENNA SYSTEM公司的M2 2M5-440XP，单频段十字大型八木主要有Cushcraft 144MHz的A144-20T， 20单元Twist八木和430MHz的TB416 16单元圆极化八木。

在大型单波段天线阵方面，CREATE提供成品的144MHz 13单元×4列和2列八木天线，增益可达22dBi/19 dBi。在国内比较容易买到的日本Diamond公司的商品级单列八木天线A144S7（7单元144MHz八木）、A144S10(10单元144MHz八木)、A430S10(10单元430MHz八木)、A430S15(15单元430MHz八木)。如果你想获得更高的增益，可以考虑使用双列阵，如 Diamond A144S10×2(双列10单元144MHz八木)。采用双列阵形式后，A144S10×2的增益由原来单列A144S10的11.6dBi提升到13.5dBi。

此外，对于移动通信爱好者，手持双波段八木天线比较有名是美国Arrow Antenna公司（www.arrowantennas.com）的Arrow II Yagi Antennas 146/437-10系列，该系列手持八木天线由3单元146MHz八木和7单元430MHz八木天线呈十字交叉而成，优点是该天线可以完全拆卸，并提供便携包方便携带。在地面站，卫星天线的配置方面一般相对侧重144MHz上行信号发射天线，业余卫星一般到达地面的信号不算很小，下行接收天线增益不一定要求很高。有些经典配置，如使用双列阵144MHz八木天线加单列430MHz八木天线成“品”字型排列，由三维转向器统一驱动。常规配置用得最多的是一根横杆，两端分别安装一副144MHz和430MHz八木天线，由三维转向器统一驱动。对于使用三维转向器的HAM，天线不能一味追求高增益和庞大，要适时考虑铁塔和转向器的承载能力。

转向器

业余卫星通信对定向天线的控制与传统短波八木天线不同，除了需要水平方向转动外，还需要垂直方向运动，以适合追踪卫星的方位和仰角。在业余电台界为业余卫星定向天线设计的三维转向器主要有两款：YAESU G-5500和CREATE AER-5。YAESU G-5500桌面指示装置采用普通电流表形式，旋转角度由表面上的刻度读出，对于用惯了传统360° 方位角指示旋转器的用户会感觉到不够直观。G-5500可以配合原厂GS232B串口适配器实现电脑控制转向器工作。CREATE AER-5转向器的指示装置则比较直观，体积也比较大，基本上是两个标准转向器指示器并排放置，一个负责指示水平位置，一个负责指示仰角角度。此外，AER-5还可以选配CREATE专门为跟踪卫星设计的RAC825/805控制器。对于已经有大型常规短波天线用转向器的用户，如果不想添置价格不菲的三维转向器，可以考虑在原有转向器的基础上添加一个负责垂直方向运动的转向器，典型产品是YAESU G-550和CREATE ERC5x系列。

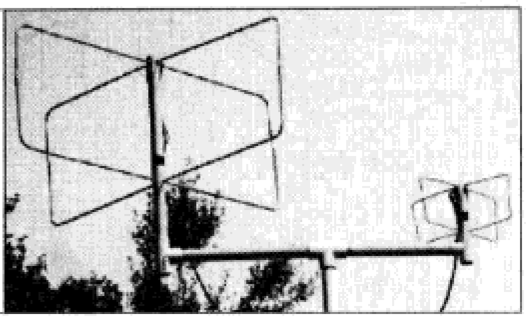
市场上供业余无线电好者选择的三维转向器不多，选购时要注意自己天线的负荷。转向器设置数据和卫星飞临上空的预计时间等信息，我们可以通过电脑卫星软件来获得，常用的有著名的Orbitron、HRD Satellite Tracking等。

双MOXON业余卫星通信天线

◎刘燕北（BD2BH）

2009 年 12 月 15 日，我国第一颗业余通信卫星成功发射升空，国内拥有 UHF/VHF 双段设备、喜爱卫星通信的爱好者终于可以利用自己国家的业余卫星开展各种通联活动了，之前大家都在技术和设备上进行的广泛储备也终于可以一试身手。

天线是卫星通信必不可少的设备，关于业余卫星通信适用的天线，去年的杂志中我们已经介绍过几款了，本期为大家介绍另外一款性价比较高、制作容易的业余卫星通信天线。



业余卫星通信利用绕行于地球轨道上的人造卫星，作为无线电通信的中继器、转频器或数字中继器，以达到远程通信的目的。工作模式有常见的CW，SSB，FM和数据通信等。而业余卫星通信工作最为常见的通信形式之一就是UHF/VHF双段。即：上行UHF频段435MHz，下行VHF频段144MHz，或者上行144MHz，下行435MHz跨段异频工作的。通信设备除了符合功率、频率和频率补偿等最基本的需求外，由于业余卫星一般运行在距离地面300~2000km的低、中、高轨道高空轨道，卫星受自带设备功率和天线形式的限制，信号十分微弱。因此，爱好者进行业余卫星通信最重要的一个条件，就是要求收发天线具有一定的增益和对微弱信号具有较强的捕捉能力，同时收发天线必须符合卫星通信极化要求。

本文介绍的这款U/V双段天线，是在普通的MOXON（莫克森 ）天线基础上发展起来的，见图1。天线为两个十字交叉MOXON天线组成，形成圆极化形式，UHF、VHF段各一个。天线具有结构简单、制作调试容易的特点，更为难得的是，此天线具有6dB以上增益和25dB前后比。近年来这种天线在短波和U/V频段，爱好者进行了许多成功的尝试，为大家所熟知和喜爱。

制作材料选择

此款天线制作材料比较好寻。因为基本的MOXON天线属于导线天线中的一种类型，因此天线主体材料可选用2~5mm直径的铜质导线，本文中天线振子选用的是#12美标硬铜导线（直径2.05mm）。由于天线为两个十字交叉的MOXON天线组成，为平衡形式馈电形式，因此还需要两段四分之一波长同轴电缆，完成型阻抗匹配、不平衡—平衡转换和90°移相，以达到交叉振子同相位馈电目的。为保证天线具有一定的强度，天线固定支撑还需用直径19.05mm的PVC或PPR管若干所组成。不同直径导线（管材）单一MOXON天线的设计方法，可通过相关软件进行计算并设计。

天线的制作

由于此天线由 UHF 和 VHF 双段十字交叉构成，又为谐振天线，因此对有源振子和反射器单元的电气长度和安装尺寸极为敏感。为了减少天线制作数据上的误差，达到设计指标，天线所需的导线单位长度，要严格按照表 1 所示的数据进行下料。天线制作的导线材料要尽量平整，减少弯曲，同时天线振子折合结构要定位准确，安装到位。

天线的组装

加工完成的天线，其基本形式是由两个对应的U型偶极天线交叉而成（见图2），其中有源振子一端（馈电端）为天线通信方向，无源振子为反射器，形成一个变形的两单元八木天线。由此可见，天线一定要保证有源振子朝上，同时UHF和VHF天线具有一定的物理间隔。具体操作如图3所示。首先，在PVC管上组装两对U型振子。

（一）有源振子与 PVC 管的固定

表1　双段天线结构尺寸（每段两两交叉的MOXON天线具有相同的尺寸，匹配电缆75Ω，相位线50Ω，电缆缩短系数0.66）

尺寸（mm）	149.5MHz	435.6 MHz
A	737.87	246.89
B	96.77	31.75
C	35.56	12.45
D	141.99	47.75
E（B+C+D）	274.32	91.95
1/4波长相位线	513.59	171.96
1/4波长匹配线	339.09	113.54

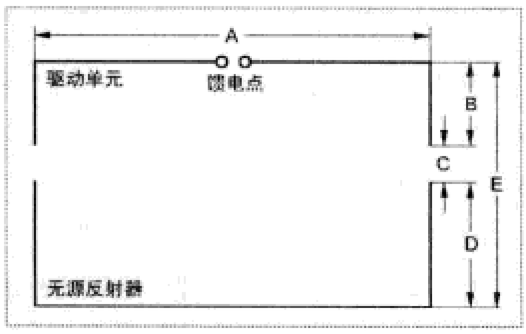


图1 基本MOXON天线

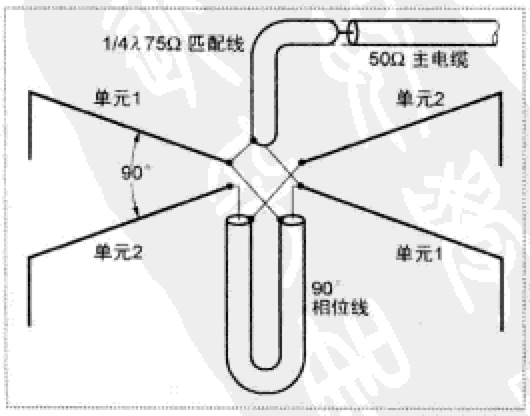


图2 天线匹配及电气连接示意图

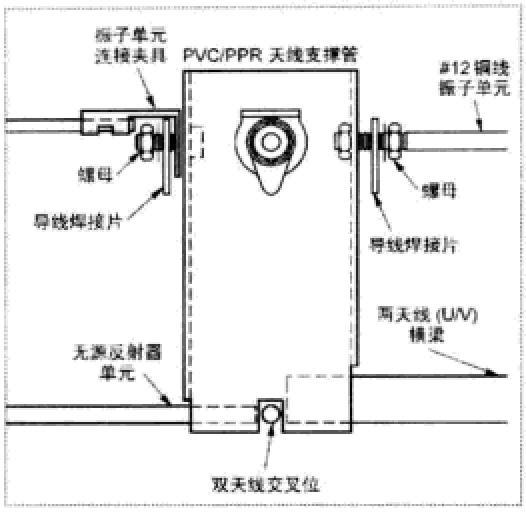


图3 天线交叉安装结构示意图

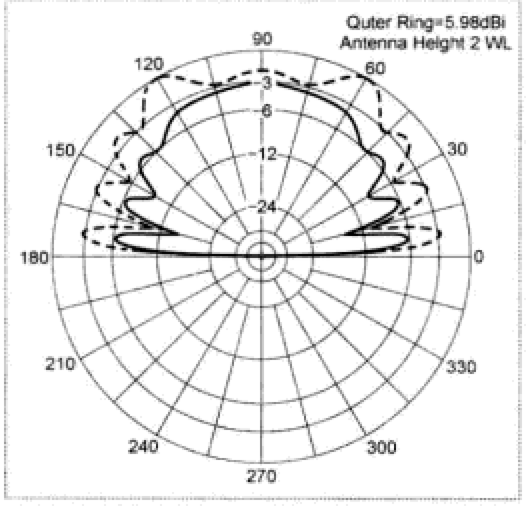


图4 十字交叉MOXON天线在距地面高度2个波长时，与交叉八木天线对比增益和方位图，虚线为八木，实线为MOXON（MOXON UHF、VHF相距3/8波长）。

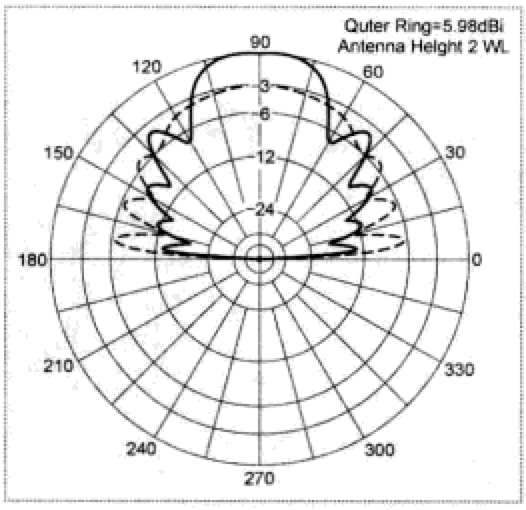


图5 十字交叉MOXON与十字交叉八木，在安装高度2个波长时，两天线的增益、方位对比示意图。实线为八木，虚线为MOXON。

方式有两种形式，其一，需要加工专门的夹具、振子末端套丝扣，用不锈钢或铜螺丝固定；其二，有源振子（与PVC管固定）末端，绕一个一定直径、可固定螺丝的圆环，并折成90°，然后用不锈钢或铜螺钉固定在PVC管上。注意，绕制的圆环部分不能包含在振子的长度之中，同时4个馈电点要预留接线片。

（二）有源振子、反射器的固定。关键点有两个：一是两个交叉振子尽量靠近，以保持天线不发生大的形变；二是两交叉振子不能短路，故在PVC管上打孔固定两个振子，距离要适当。

（三）有源振子和反射器U型对接部分的固定。首先要保证两个振子有规定的间距，同时两个振子调节的材料要有一定的强度，并保证不发生松动、脱落；其次，是天线馈电点的连接。从图1中我们可以看到，由于天线为两个基本MOXON天线十字交叉形式，并联馈电，因此对天线的阻抗和相位有严格要求：

第一，阻抗需要进行适当匹配。由于交叉的两条天线为并联形式，因此输入阻抗需减半，在35Ω左右。匹配的方法是：在馈电点串联了一段75Ω的1/4波长电缆，然后再接50Ω同轴电缆（需用转接头）；第二，保证两个交叉天线同相位馈电。方法是，采用一段1/4波长50ΩU型90°相位线交叉连接；第三，1/4波长75Ω匹配电缆、50Ω相位线（电缆），要考虑缩短系数的问题。为了保证天线良好匹配和同相位馈电的基本要求。聚乙烯介质同轴电缆计算馈线长度时一定要考虑其缩短系数，一般用0.66；第四，天线接线的连接形式、线序一定不能搞错，接点焊接牢靠，并注意防水和耐腐蚀问题；第五，天线PVC安装管预留长度：除了天线自身固定所需长度外，每个天线反射器到横梁距离天线为1/2~3/8波长，方便与横梁连接。同时，两天线间距离（横梁长度）应为3m。

安装好的MOXON天线与八木天线在增益和方向比上的比较见图4、图5。

天线的调试

用天线分析仪或者SWR表辅助测试天线，方法如下：

在不连接相位线和匹配线的前提下，首先分别测试每一副天线（交叉双天线中的一个）的谐振点，保证阻抗等主要技术指标都符合要求。其次，连接好相位线、匹配线，进行其中一个十字交叉双MOXON天线的统调。最后，按照上述的调试方法进行另外一个波段的调试。

注意：当发射机具有U/V双天线输出时，天线正常连接各自工作频率天线接口即可。当发射机仅有一个公用天线接口时，天线需要接双工器，防止收、发相互干扰，以保证天线具有良好的隔离度和灵敏度。

天线工作情况

这款天线主要用于固定方位的卫星通信。通联前可参照相关业余卫星的文件资料，下载相应程序，计算业余卫星通过自己上空的时间、方位和可用通信窗口时间，以及工作频率和模式，否则是无法进行卫星通联的。

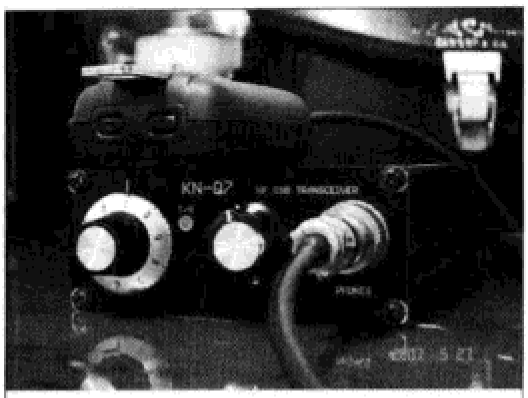
这款天线在工作时并不一定要与卫星的姿态相垂直，当卫星进入我们上空与地平面夹角30°以上时，天线就可以满足信号强度需要，进行良好的通信。由于此天线具有较高的增益和指向性，我们利用一般设备，几十瓦功率就可以使完成卫星通信任务成为可能。

TIPS

MOXON天线

1952年，英国人的莫克森（Les Moxon，G6XN）设计了一种简洁的长方形天线，他将二单元八木天线的有源振子和反射器的两端向内折弯一段形成一个矩形框，这种天线的增益与二单元八木天线相同，但天线尺寸可以减少30%左右。因此，这款天线称为MOXON天线，该天线不仅能工作在VHF/UHF波段，还可以在短波及微波波段上使用。

MOXON天线的长度可由专门的软件计算得出，使用者可以到http://www.ac6la.com/下载MoxGen软件包。

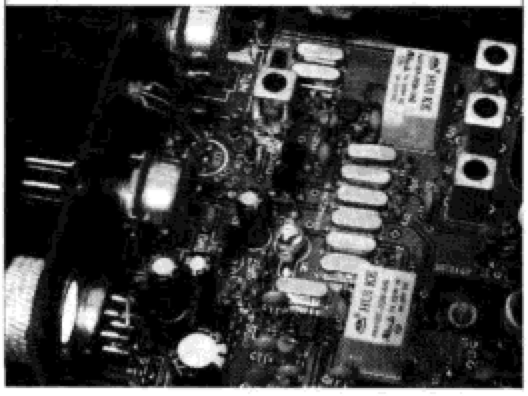


收发信机DIY实战

DIY袖珍短波单边带收发信机

◎时刻（BA6BF）

2007年初，笔者就在设想着制作一台袖珍式短波单边带小电台。它的体积应该小到足够放进外套口袋，并且它的重量也不会给外出带来明显的负担。同年5月份，按照这个概念，我成功地完成了这个任务。



在一个体积为12.3cm×9.6cm ×4cm的小盒子里装进去一个完整的10W单边带电台的确不是一件容易的事情，如果读者看到它的照片肯定会同意我的看法。

我们需要解决的是，如何在这么小的空间里尽可能地减少电路的零件数量而不影响机器的工作，则成为头等大事。为了这个目标，电路中零件被收发信电路单元大量复用，为了缩小体积，笔者采用了单管甲乙类功率放大器等。

图1是这款机器的电原理图。电路的核心是两片NE602，在前面的连载中我们多次提到过它，它内部集成了本机振荡器，所以在这个电路中我们得以节省2个单独振荡器需要的宝贵空间。我们可以从电路的信号流程来看看它是如何工作的。图2是实物电路。

接收流程

天线上接收到的信号首先经过由L1和L2及相关元件组成的7MHz带通滤波器滤除掉带外干扰，然后送入IC1（NE602）的第1脚。IC1的6脚和7脚及相关元件组成15.53MHz的本机振荡器，并和7MHz的输入信号混频产生8.465MHz的中频，由第4脚输出至晶体单边带滤波器。单边带滤波器由6只8.4672MHz的石英晶体组成，它的结构和原理在前面的连载中多次介绍过，读者可以翻看前几期的杂志。

单边带滤波器把不需要的频率分量滤除以后得到纯净的中频信号，输出至IC2（MC1350）的第6脚。MC1350和外围元件组成中频放大器，它最大为机器提供50dB的中频增益，并且它只在接收的时候工作。MC1350的第5脚是AGC控制，在这个电路里，接了一个电位器作为手动增益控制，通常把它当作音量调节。经过IC2放大过的中频信号通过一个串联的石英晶体被IC3解调成为音频，TDA2822作为低频放大器，把这个音频信号放大到大约200mW后，输出给扬声器。

发射流程

基本上是接收电路的逆过程。IC3在这里作为平衡调制级，它本身带有振荡器，而话筒输入的信号直接和它

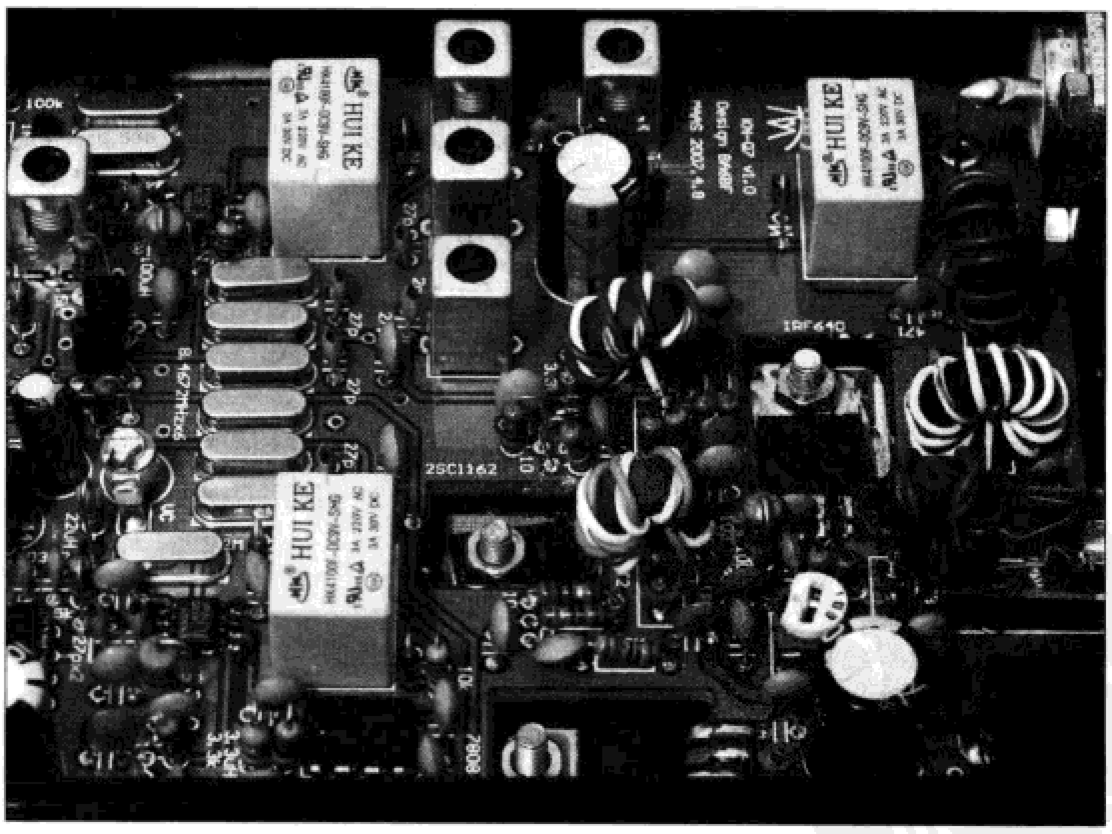


图2 实物电路

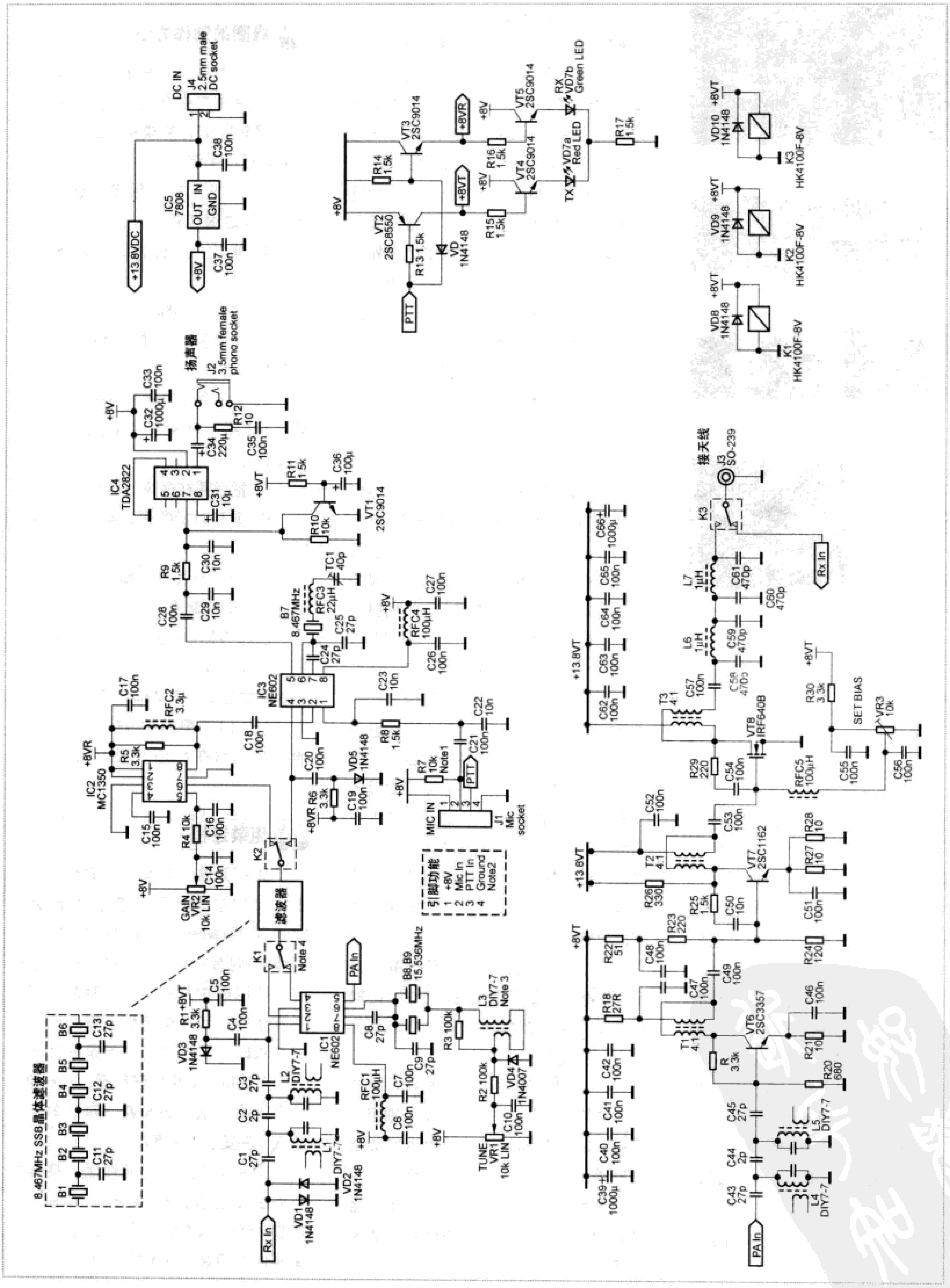


图1 袖珍短波单边带收发信机电路图

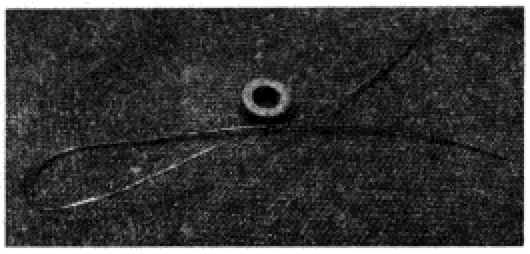


图3

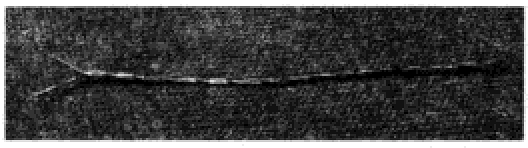


图4

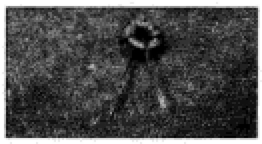


图5

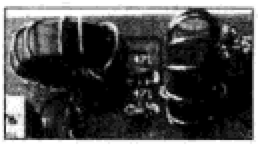


图7

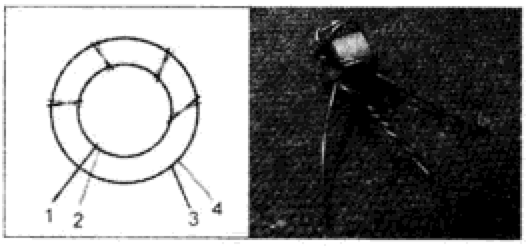


图6

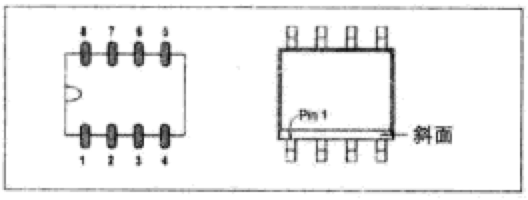


图8 NE602引脚顺序

本身的振荡信号进行平衡调制后输出DSB（双边带）发射中频。晶体边带滤波器会把这个DSB（双边带）信号滤除一个边带后送到IC1（NE602）的第2脚，IC1的6脚和7脚及相关元件组成15.53MHz的本机振荡器，并和8.465MHz的单边带中频混频产生7MHz的输出信号，由第5脚输出。L4、L5和相关元件组成7MHz的带通滤波器，它只允许通过7MHz的工作频率，而滤除掉其他不需要的频率分量。

射频线性功放单元由3级放大器组成。VT6（2SC3357）为中功率超高频三极管，在电路中，它工作在小功率甲类状态，静态电流30mA，大约输出50mW的功率。它的输出回路采用4:1阻抗比的传输线变压器，用来提供给功率推动级一个低阻抗功率电平。VT7（2SC1162）和相关元件组成功率推动级，它也工作在甲类状态，静态电流300mA，输出功率约为500mW。从这一级开始，功率的发热就比较厉害了，所以要采取良好的散热措施。在这个设计中，由于机器体积太小，无法安装足够的散热器，所以利用机器的金属外壳充当散热器。散热效果虽然还不错，但是由于晶体振荡器也受到加热，所以会导致频率稳定度稍差一些。

VT8（IRF640）是一个HEXFET功率管，通常这类管子都用在电源或功率开关电路中，但它同时也可以工作在射频波段，并且还能提供比较大的输出功率及效率。在这个电路中，IRF640工作在甲乙类状态，静态电流约为60mA。HEXFET是一种电压控制型器件，和BJT（双极性三极管）的电流控制型不同，它的静态电流主要靠栅极电压来控制。这里，我们使用一个可调电阻对5V的稳定电压来分压得到4V左右，用来提供给IRF640的栅极，从而使得IRF640产生60mA左右的静态电流。HEXFET做线性功率放大器，还有一个好处，那就是不用特别给它做温度补偿。因为HEXFET呈负温度系数，当温度上升的时候，它的工作点会自动下降，这样就基本维持工作状态不会随着温度的高低而变化。这样，在安装和调试上会感到十分方便和轻松。

L6、L7和配谐的电容组成截止频率为8MHz的低通滤波器，它将VT8输出的功率电平滤除掉谐波以后送到天线上去。

这个电路的设计充分发挥了器件的特性和功能，比如IC1和IC3分别担任了接收的变频和解调，同时也担负着发射单元的类似任务，使得整个电路的元件数量大大减少，并且只要把接收调试好，那么发射的调整就会变得很简单。

线圈的制作方法

为了降低制作难度，小信号的谐振电路中通常使用定制的DIY系列中周，但有些地方需要稍微改造一下或需要自己动手绕制。

T1、T2、T3：很多人认为这很难，其实这很容易。

1. 剪取20cm长的漆包线，一共要3条。

2. 对折，见图3。

3. 扭转直到每厘米有两三个波节（图4）。

4. 线头留10mm，在NXO-100磁环上绕5圈。从磁环中间过才算一圈（图5）。

5. 把线圈在磁环上均匀分布。

6. 剪开对折的那一头，分开两条线。

7. 用万用表测出哪两个头是一起的，把2和3连起来（图6）。

L3：VXO的负载电感不需要谐振，所以，取一只DIY7-7中频变压器，把底部的管状电容撬碎即可。

L6，L7：剪两根15cm的线绕低通线圈，单线在NXO-10上绕12圈（图7）。

组装过程

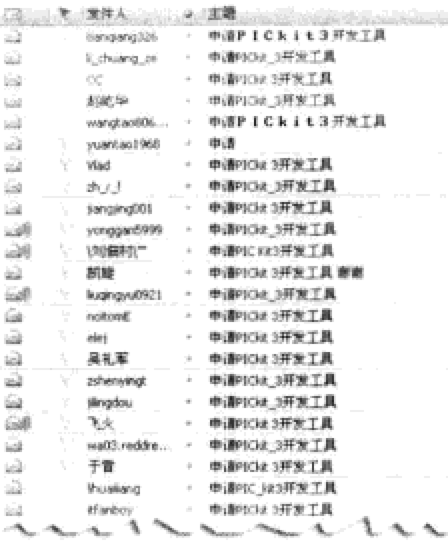
先把元器件分类正确安装在PCB上，其中应该特别注意SMD封装的NE602的引脚辨认。SMD封装的IC一般不像DIP封装那样有专门的引脚识别标志，所以经常有朋友来问我怎么识别引脚顺序。我在电路板上设计元件库时喜欢印上定位缺口，但是贴片元件上没有缺口，如果你仔细看，NE602有一个斜面。从上表面看，斜面向下，缺口向左安装，见图8。

安装好PCB上的元件后，需要在外壳底板上钻3个功率器件（7808，2SC1162，IRF640）的安装孔，3个功率器件必须装到机箱底板上，这样就

《无线电》杂志 微芯科技公司

PIC单片机开发工具赠送活动圆满结束

◎本刊讯



由本刊和美国微芯科技公司（Microchip Technology Inc.）联合举办的“体验利器 挥洒创意”PIC 单片机开发工具赠送活动已经圆满结束。经过双方评选，共有 5 名幸运的读者获得微芯公司 PIC kit3 开发调试工具。现将获赠名单公布如下：

刘永相（西安交通大学）

时海东（沈阳工业大学）

周　俊（江汉大学）

徐芝美（山东理工大学）

杨　锐（东华理工大学）

活动期间，本刊收到大量的申请，在此感谢读者朋友的热情参与，本刊今年还将举办类似的体验及试用活动，希望读者朋友们继续关注本刊及网站上的活动消息。

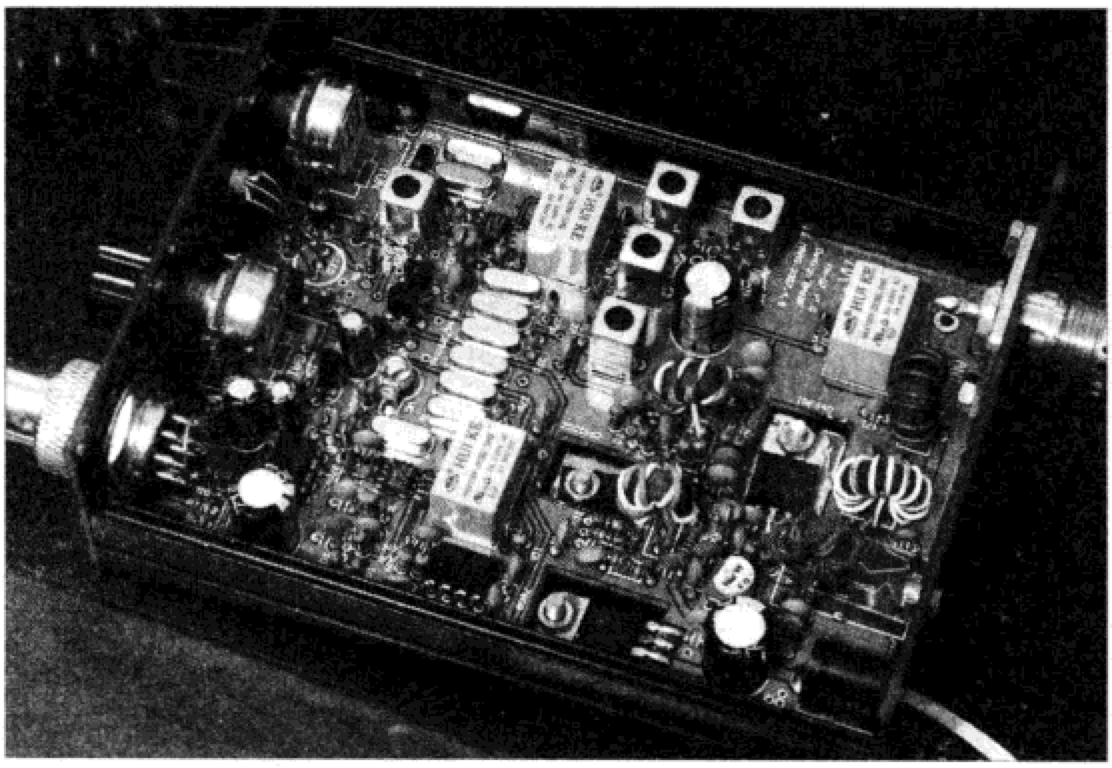


图9 安装到外壳内的实物电路

可以利用金属机箱进行散热。把PCB放在底板上，把孔的位置定好再钻孔，这样可以在后面安装功率管的时候减少点位置误差，当然这一步也可以放在PCB焊接之前就做好。

把 PCB 顺着金属机箱两侧的凹槽推到位后，进行功率管的安装。3 个功率管都需要卧在 PCB 的方孔中，然后用螺丝固定在机箱底板上。其中 2SC1162 及 IRF640 需要用绝缘垫片和绝缘垫圈，使它们和机箱绝缘，7808 则不需要绝缘，可以直接固定在底板上。而这 3 个功率器件在安装之前都必须均匀涂抹上导热硅脂，以尽可能减少热阻。图 9 是安装到外壳内的实物电路。

后背板上要安装天线插座，并把天线插座的中心线和PCB上的相应位置连焊在一起，同时地线也连接上。PCB 上的两个电位器正好可以固定在前面板上相应的安装孔中，而话筒插座也安装在前面板上。

整机调试

这款机器需要调整的地方很少，我们仍然把接收和发射的调试分别进行讨论。

接收单元的调试主要是 VFO（本机可变频率振荡器）、BFP（拍频振荡器频率）和输入带通滤波器。在焊接及安装无误的情况下，把增益电位器顺时针拧到最大，此时机器处于最高增益，扬声器里应该会有轻微的“沙沙”声。接上天线后，一般会有短波特有的一些干扰及信号进来。如果有灵敏的频率计，通过一个 2pF 左右的电容接到 IC3 的第 7 脚，调节微调电容 TC1，使频率计显示在 8.4655MHz。然后把频率计接到 IC1 的第 7 脚，频率调节电位器逆时针拧到底，调节 L3 的磁帽，使频率计显示 15.5155MHz，就大致调好了。然后，调节接收输入带通滤波器的 L1 和 L2，使得天电噪声达到最大峰点。寻找有业余电台出现的频率和时间，微调 TC1，使音质、音色最佳即可。

由于电路设计上接收和发射共用模拟信号处理部分，所以只要接收调好了，发射只需要调整发射单元的带通滤波器和功放管的静态电流。这里我们需要一些辅助仪器，比如一块万用表、一块射频功率计、一个1kHz的音频信号发生器，当然最好再能有一个50Ω的假负载。

把万用表的电流挡接在机器的电源中，然后按下PTT，调节VR3（功放管偏置可调电阻），使整机静态电流在550mA左右。天线插座接上射频功率计和假负载或SWR小于1:1.5的天线，给话筒送入1kHz/200mV的音频信号，按下PTT后调节L4、L5，使输出功率最大。

这个电路如果装调合适的话，在传播良好的情况下可以通联到很远的电台，并且具备很好的音质和音色。由于它的体积非常小，并且接收时静态电流仅为30mA左右，很方便使用电池供电，所以被认为在紧急条件下是有用的应急通信设备。

◎阮东升（BA6QH）

“KX1”中国造——HB-1A“黑豹”试用记

“CQ CQ CQ 这里是 BY4QA BY4QA BY4QA，有听到的朋友请回答”2009 年 12 月 5 日北京时间早上 10 点整，江苏省常州市无线电运动协会集体业余电台 BY4QA 正式开台，操作员 BA4RC 陈方老师正在主持开台仪式，频率上各地守候多时的 HAM 听到呼叫后立刻蜂拥而上争相回答，当陈方老师联络了 3 个电台正准备将话筒交给下一位操作员时，突然听到在众多 SSB 语音呼叫中传来了清脆的嘀嘀嗒嗒莫尔斯电码声，陈方老师凝神静听，原来是 BA6QH/QRP 正在用 CW 方式呼叫 BY4QA，陈方老师立刻回答：“BA6QH/QRP。你的信号 599，你是第四位并且是第一个使用 CW 方式与 BY4QA 通联的朋友，这种 CW/SSB 交叉通联的方式很有趣，感谢你的回答”（图 1）此时正驱车前往现场的 BA4TA 通过车载短波电台在 7.050MHz 上听到了这次奇妙的 QSO，并说“BA6QH 的 QRP CW 信号很强”，而远在北京的 BD1IOY 则反馈：“我用长线接收到 BA6QH/QRP 在 7.050MHz 的这次 QSO，信号很清晰！比好多区的话音还清晰！”看到这里读者朋友肯定会问，这有趣的一幕是如何完成的？用的是 FT-817 吗？下面笔者将带着您一起来体验一下这款深受中外 HAM 好评，被誉为中国制造的“KX1”——“黑豹”HB-1A 三波段 CW QRP 收发信机。

简介

“黑豹”是由 BD4RG（卜宪之）老师开发的一款三波段 CW QRP 收发信机，由于其通体呈现黑色，因此笔者按照其型号 HB 的拼音谐音取名为“黑豹”，与其他如“蛙鸣”、“章鱼”、“夜鹰”、“啄木鸟”等 QRP 机器一样，它的出现，使 7023 乐园又增添了一位新伙伴。据 BD4RG 介绍，HB 的真正含义取自英文 Homebrew 一词（“自制”之意），而且此机是数易其“稿”，才定型为现在这个样子（图 1）。

从外观上看，本机借鉴了 Elecraft 公司出品的 KX1 风格而又有所区别（图 2），也正因为如此，国外许多 QRPer 均将本机与 KX1 做比较。

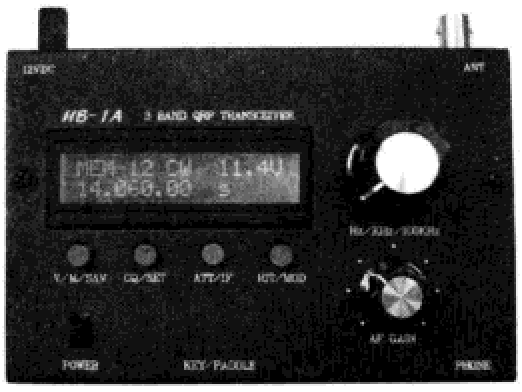


图1 HB IA外形

笔者先带大家了解一下“黑豹”的主要特点：

1. 覆盖了 20m、30m、40m 三个业余频段。由于该机器采用了 DDS 电路来产生 VFO 信号，因此它也可以在这几个频段之外工作，从而覆盖了 5~16MHz 之间的短波广播波段，可运用 SSB 的模式来收听短波广播。

2. 输入调谐回路采用两个磁环（最新版本已改为中频变压器）做成高 Q 值的双调谐电路，用变容二极管对 5~16MHz 全频段调谐，调谐电压由单片机通过 D/A 变换后提供，使得接收机的灵敏度和选择性都有比较大的提高。

3. 晶体滤波器由 4 只晶体组成，滤波器带宽由变容二极管控制，单片机提供 4 种 SSB 带宽和 4 种 CW 带宽供选用。这一改进提高了接收机的选择性。

4. 大部分阻容元件和部分晶体管及 IC 使用贴片元件，发射部分的低通滤波电容使用高频性能好的独石和云母电容，发射功率有所增加。

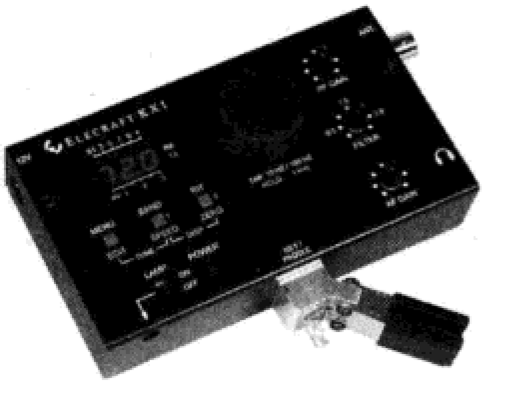


图2 Elecragft的KX1

5. 交叉模式（CW/SSB）：USB/LSB/CW 三种模式的任何一种都可以用于交叉通信而不必借助 RIT，当你正确接收到 SSB 信号时，你只要发信，对方就会收到你的 700Hz 音调的 CW 信号。笔者认为这种 QSO 的方式最有趣，本文开头的那一幕就是用这种方式实现的。

6. “黑豹”采用低功耗设计，在打开显示屏背光的情况下，接收时电流大约 55mA，笔者认为这是本机最大亮点之一。须知，号称“QRP 之王”

"黑豹"的具体指标

机壳尺寸：

140 mm × 95mm × 35mm

重量：约 450 g（不包括电池）。

工作电压：9 ~ 14VDC。

消耗电流：接收时，静态电流约 55mA，发射时，在 350 ~ 850mA（根据电源电压的不同）。

频率范围：

接收，5 ~ 16MHz，连续发射，7.0 ~ 7.3MHz、10.1 ~ 10.15MHz、14.0 ~ 14.35MHz。

最大输出功率：

13.8V 电压，约 5W。

自动键：内置

自动键速度：可调

选择性：SSB 带宽 2.2 ~ 1.6kHz，分 4 挡；CW 带宽 900 ~ 400Hz，分 4 挡。

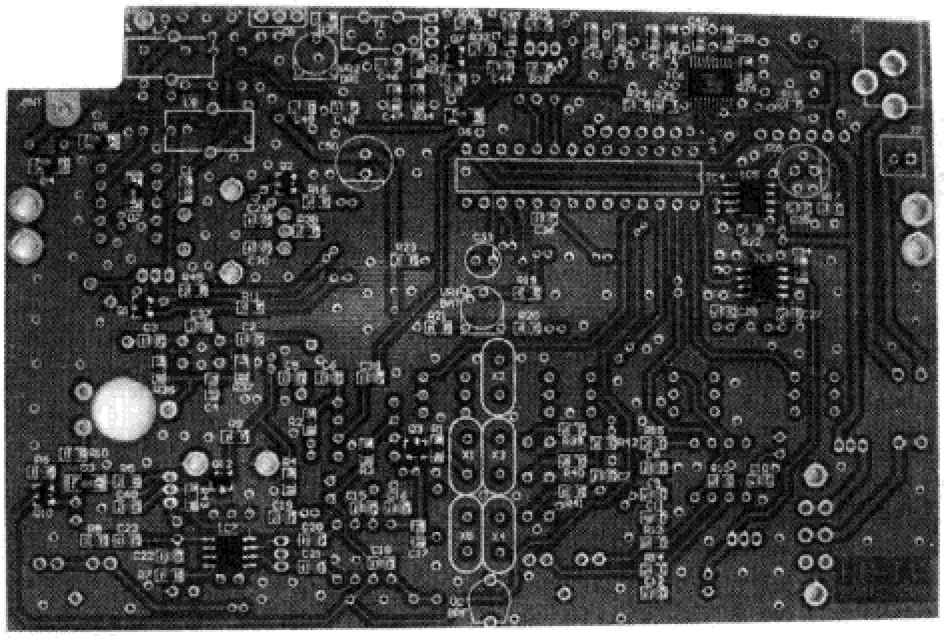


图3 焊好了贴片元件的电路板

的 FT-817 在关闭显示屏背光后依然有 300mA 的电流消耗，真正的野外通联，电源是一个非常关键的因素，而"黑豹"在这方面提供了很好方案，难怪国内外有许多 HAM 用它来做野外露营时的主打机器了。

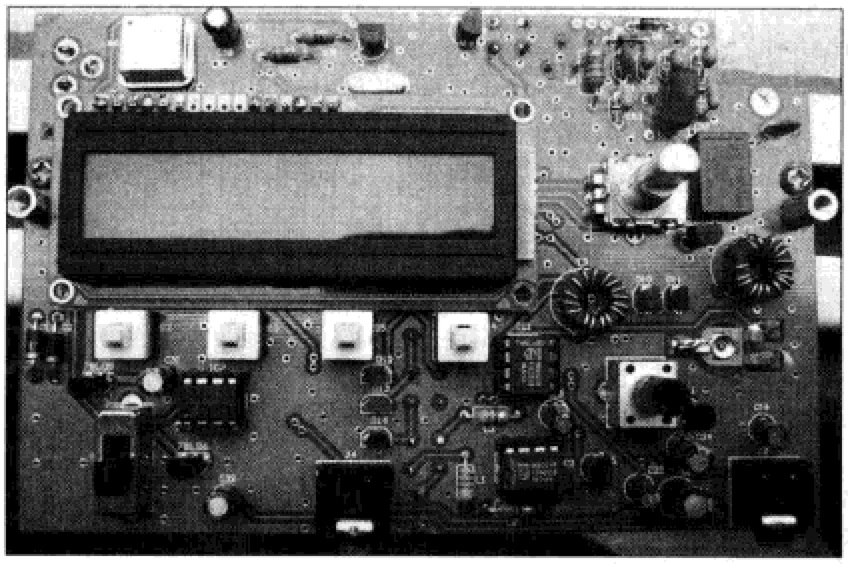
HB-1A 提供了两套方案供用户选择，一个方案是提供大散件，即一块由工厂将所有贴片元件焊接好的板子（图 3），组装者只要将插装元器件（如集成电路座、三极管、场效应管、电键耳机插座、继电器、电解电容、晶体等元件和少量自制的电感磁环）安装焊接好即可。组装完成的板子如图 4 所示。

现在的 DIY 套件有向贴片元件安装的发展趋势，虽然贴片安装的高频特性不错，也是今后 DIY 发展的方向，但对大多数朋友，尤其是眼神不好以及没有安装过贴片元件的爱好者，还是不容易焊好的。随着现代社会生活节奏的加快，已经很少有人能够静下心来从事 DIY，笔者觉得这个方案对 DIYer 来讲很不错，也正好满足了一部分 DIY 爱好者喜欢动手的需求。另一个方案是提供成品，只需插上电源、耳机、电键及天线即可投入使用。

设置

笔者在收到成品机后，急忙打开，诚如一位朋友所言：外观小巧、秀丽，属于"美女"级别！打开机壳，里面除了电池盒以外，还提供 4 个胶垫，红色按钮、连线以及热缩管（图 5）。通电之后，该机的蓝色背光显示屏尽显高贵，十分养眼（图 6）。

据介绍，这种 1602 显示屏的背光开启后，耗电只有 10mA 左右，因此本机也就无需设置背光通断开关。接着，笔者对机器的输出功率做了测试，供电在 13.8V 的情况下，测试



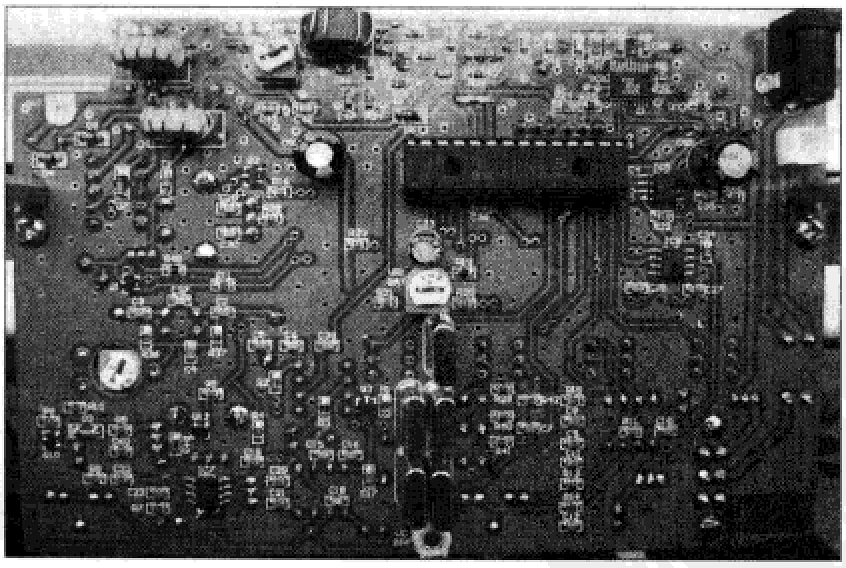


图4 焊好所有元件的电路板

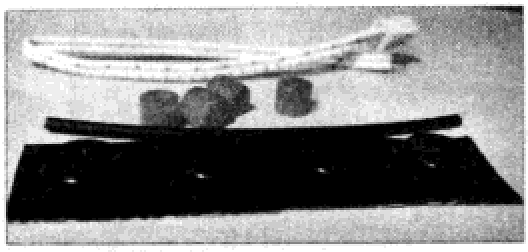


图5 HB-1A的其他配件

图6 蓝色背光显示屏

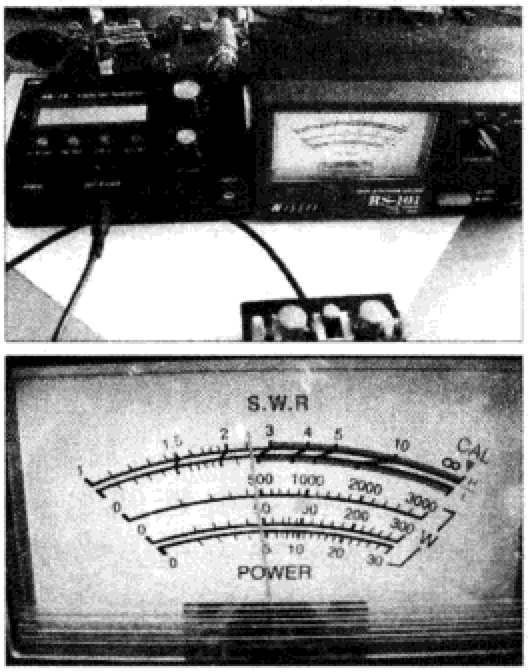


图7 测试HB-1A的输出功率

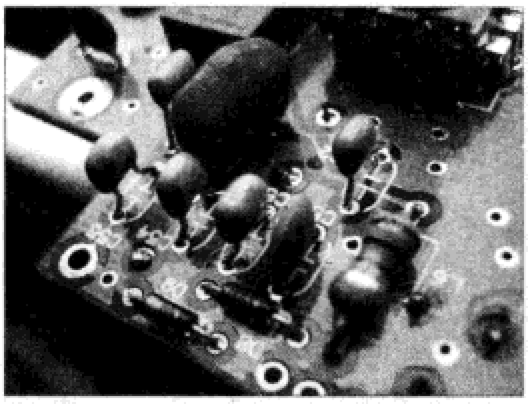


图8 高频NPO零温度系数的独石和云母电容

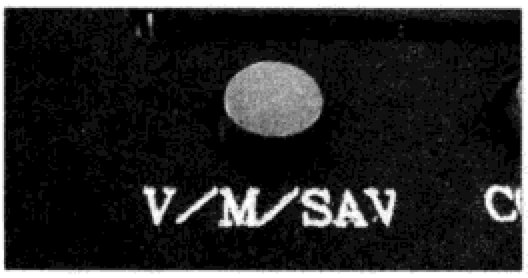


图9 V/M/SAV键

结果为：7MHz/5W，10MHz/4.7W，14MHz/4.2W（图7）。

看来1162用在此处效果还不错，低通滤波器用的高频NPO零温度系数的独石和云母电容，高频性能好（图8）。

由于笔者没有示波器，输出波形以后有机会再测了。新机到手后，根据各人的习惯，还需要对相应的功能进行设置以符合使用习惯，笔者通过以下几步对“黑豹”进行了设置：

1. 对存储频率进行设置，本机有20个存储信道，里面有一些广播频率，笔者根据自己的习惯重新进行了设置，减少广播频率，增加业余常用频率，频率的存储由V/M/SAV键来实现（图9）。

这个键有两个作用：①轻按切换VFO和Memory，②长按直接存储频率。轻按一下这个按键，将在存储频点和VFO之间转换，液晶屏的左上角将分别显示MEM-**或VFO-**（**为01～20的数字）。显示MEM-**时为存储频点方式，此时旋转大旋钮可以改变存储频点，顺时针旋转为增加，逆时针旋转为减小。显示VFO-**时，为改变频率方式，此时旋转大旋钮可以改变工作频率，顺时针旋转频率增加，逆时针旋转频率减小。按V/M/SAV按键超过2 s可以将当前的频率和工作模式存储到存储单元中。液晶屏的左上角将显示SAVE字样。

2. 设置发报速度及自动呼叫呼号，自动呼叫是本机一个比较有特色的设计，这些功能均由CQ/SET键来实现。

这个键有3个作用：①轻按自动呼叫，②长按调节自动键速度，③更长时间按住不放则编辑自动呼叫内容。具体操作如下：按下CQ/SET按键不放，约2s后听到“嘀嘀嘀”（莫尔斯码字母S），此时放开CQ/SET键，将自动键拨片拨向“点”速度加快、拨向“划”速度减慢至合适的速度即可。当需要编辑自动呼叫内容时，按下CQ/SET按键不放，约2 s后听到“嘀嘀嘀”，继续按住CQ/SET按键不放，再过约2 s后听到“嘀嘀”（莫尔斯码字母I），此时放开CQ/SET键，5 s内（不做输入5 s后将自动退出，并保持原来的呼号）像平时发报一样，用自动键拨片发一遍你的呼号即可。发完后短按一下CQ/SET键，然后立即放开，听到“嘀”（莫尔斯码字母E）退出，至此完成自动呼叫呼号的设置。

3. 设置CW及SSB模式下的带宽，“黑豹”使用了4只晶体组成的中频滤波器，由程序提供4挡SSB（分别为2.2kHz、2.0 kHz、1.8 kHz、1.6 kHz）和4挡CW（分别为900Hz、700Hz、500Hz、400Hz）带宽，可以提供很好的CW和SSB选择性。此功能由ATT/IF键实现。

首先，轻按开关ATT，然后长按，打开滤波器选项，点击换不同带宽。按

图10 设置SSB的带宽

ATT/IF 按键超过 2s 将进入中频带宽设置状态，并显示当前的中频带宽。如果在进入设置前工作模式是 CW 的，将对 CW 的带宽进行设置；如果在进入设置前工作模式是 USB 或 LSB 的，将对 SSB 的带宽进行设置。显示屏上显示图 10 的内容后，每轻按一次 ATT/IF 按键，中频带宽将依次改变，当得到你需要的带宽时，可以长按 ATT/IF 键退出。

需要说明的是，以上的设置只是开始工作前的基本设置，本机在软件开发上十分强大，尚有许多功能，由于篇幅所限，就不一一例举了。

实战

基本设置完成后即刻投入实战，是骡子是马拉出来溜溜便可见分晓。下面笔者将按时间顺序罗列"黑豹"的几个经典战例。

1. 2009-6-24

收到机器的第三天，晚上 BD6TVX 在 QQ 群里告诉我，7023 乐园有美国电台出现。赶紧打开"黑豹"，原来是美国加州的 W7CB 在乐园里与中国电台在做 QSO，他的信号很好。待其与其他友台通联完后立即插入，对方听到后缀是 /QRP 后专门询问了一次，抄收后给 579 的 RPRT（Q 缩语中的"报告"），对方 PWR（Q 缩语中的"功率"）:800W，ANT（Q 缩语中的"天线"）:2 单元八木天线。当听到我的设备状况是 HOME 5W DP（在家，5W 功率，偶极天线）后，连着发了几个"hihi"（这个在 CW 通联中可以经常听到，是笑的意思）。每当用 QRP 与 QRO 电台 QSO 的时候，我们可以想象一下对方的表情，很有趣的，这也是一次较长时间的 QSO。后来看到网上有几位朋友想抢入，均未成功，真是不好意思。这次 QSO 也被 BD6TVX 刚刚做好的"鼹鼠"（直接变频式接收机）全程收听并录制了视频，从视频上看，效果还不错（视频地址：http://v.youku.com/v_show/id_XMTAwODc0MDM2.html）。

2. 2009-6-26

下午 5 点左右听到一个非常微弱的信号在 CQ，仔细辨别，原来是 BD6TVX 在用"鼹鼠"呼叫，此时他的功率只有 50mW！！！回答并完成 QSO，证明"黑豹"对弱信号的接收还不错。

3. 2009-7-2

与 BA4TT/QRP（HB-1A）完成双向 QRP QSO，这也是两只"黑豹"间的第一次对鸣。

4. 2009-7-18

早上听到 BG9JU 呼叫，信号很强（599），回答也给了 599 的报告，随着这个电台通联的完成，"黑豹"在不到一个月的时间里已经与 1～9 区的电台完成了通联。我想，如果不是期间出现一点小小的故障的话，应该可以更早达到这个目标。

5. 2009-7-19

武汉炎热的天气已经到了无以复加的地步，走在路上就像在蒸桑拿。下午回家打开机器，在 14.270MHz 上听到 BA0AA 张老师在"摆摊"，她现在在昆明，信号 59。以前曾经与张老师做过 CW QSO，知道张老师是 CW 高手，因此也就尝试着用 CW 呼叫。没有在 14180 上的那种尴尬，张老师听到呼叫后要我等一会，把 SSB 呼叫的电台都打发完了后开始回答我，给了 579 的 RPRT，还不错，没有电键，张老师就用话音唱报，这样的通联真的是别有一番乐趣。

7 月最火爆的话题莫过于日全食了，4 区的朋友还为此专门架设了信标台对日全食发生期间电离层的变化进行监测。笔者用"黑豹"配合 AJ1（《无线电》2009 年第 8 期上介绍的音频滤波器）在 14MHz 上监听，并取得了信标台的确认卡（图 11）。同时，笔者还录制了一段视频，从视频中 k 可以看到效果非常不错，而且这段小视频在短短 2 天的时间里获得了 3 千多次的点击量。

视频地址：http://v.youku.com/v_show/id_XMTA2NTg3MjYw.html。

6. 2009-8-10

夏天 7MHz 的传播实在很差劲，"黑豹"一直没有与欧洲的电台做 QSO。这两天是全欧的 DX 比赛（WAE），这个比赛是通联欧洲电台的极佳机会。最近两年我都是使用 QRP 电台来通联的，去年用夜鹰通联到了不少。这天起得早一点，就打算试一试，很幸运地通联到了 OJ0B/RD3A/EA1WX 这 3 个欧洲的电台。其中，OJ0B 是比较稀有的字头，这是波罗的海中一块很小而平坦的礁石，别看它小，却是芬兰和瑞典两个国家领土的中间划界。这块礁石登陆并不容易，平均一年会有一两次远征队上去设台操作，据说，425DXN 网站的调查中，其难易度排在欧洲的第 8 位。两年前笔者曾经通联到过，但用这种简易的设备还是第一次通到。与上次不同的是，上次是在争抢中通到，这次是听到他在反复地呼叫 CQ TEST，没有什么电台回答，因此回答一次即得到回应。RD3A 的信号在"黑豹"中如同打雷一般响亮，即使打开 ATT 信号指示也有 599+++。一般这种强信号电台功率与天线都是很"牛"的，QRP 通联应该不是很难，而与西班牙 EA1WX 的通联则颇费了一番周折，反复发了 N 次才搞定。期间听对方 QRM/QRN 发了很多次，一般 7MHz 上这些欧洲电台所处的电磁环境并不太好，像法国、意大利等国的电台在 7MHz 上用 QRP 也是需要通过艰难的努力才通到的，这个西班牙电台也是我在 7MHz 上 QRP 通联的新字头。

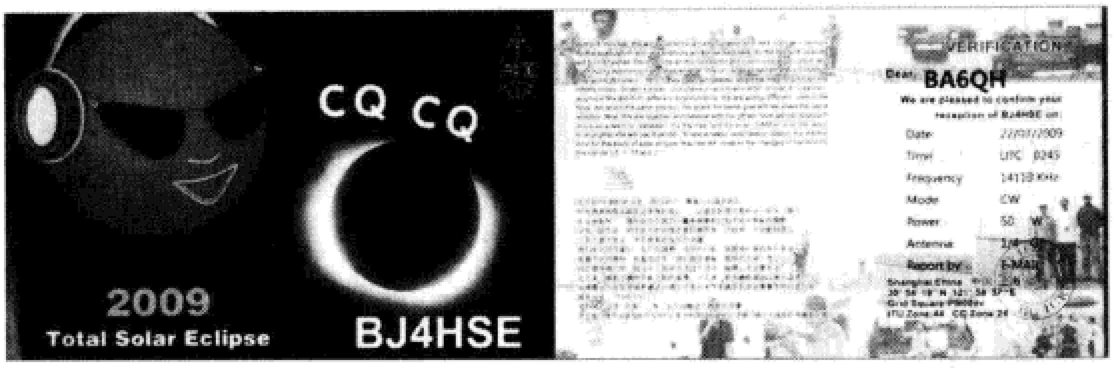


图11 2009年，用HB-1A监听日全食监测台的确认卡

图12 笔者在本刊开印前两天收到的BY4QA的QSL卡片

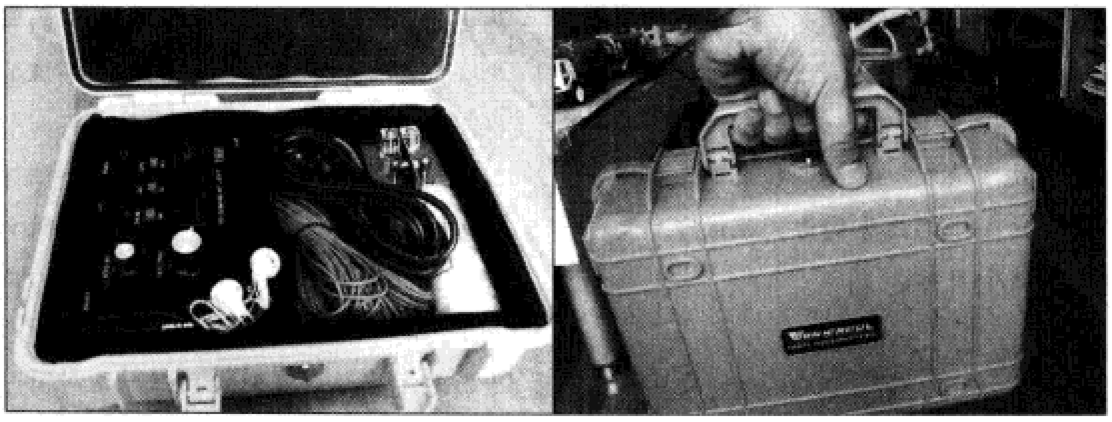


图13 BAIRB为HB-1A准备的工具箱

通过这段时间的使用，笔者对“黑豹”有了比较多的感性认识，优点前面已经说了很多，下面谈谈个人在使用过程中感觉下一步应该改进的地方：

1. 本机有一个通病，就是在使用过一段时间后，Q4 这个管子容易损坏，这个问题卜老师很快找到了病根及根治的办法，相信在下一版里会得到解决。

2. 发射时侧音音量偏小，环境稍微嘈杂一点的话，听起来会感觉比较吃力，再版时可将控制侧音的 R15 改为可调式的，由操作者自行调节。

3. 底噪似乎有点大，不知道是因为 DDS 的相位噪声引起的，还是由于单片机而引起的，有待进一步查找。同时，发射间隙有较明显的噪声，应该是电子开关全插入工作，但还是感觉收发转换的时候噪声较大，有待进一步改进。

4. 调整 CW 的速度要进入一层菜单，不能在 QSO 过程中随时调整，如果设置成随时可以调整速度的话，在实际 QSO 中会方便许多。另外也没有设置左右手转换的功能，再就是插入手键后自动呼叫功能不起作用，这几个问题改写一下单片机的程序应该能很好解决。

20 世纪 90 年代初，笔者曾经看到过卜老师将 239 收信机改装为短波全段 CW 收发信机的文章。经与卜老师交流，他说 HB-1A 从元器件的选用到设计制造都坚持品质第一的原则。因此，本机不但得到了国内众多使用者的肯定，更得到许多国外 HAM 认同。作为一款打入欧美的 DIY 作品，我们应该为此感到骄傲。

国外著名的评机网站 eHam.net 对 HB-1A 给出了 4.6 分的高分（满分是 5 分），还有许多 HAM 直接就给出了 5 分的满分。美国 DIY 电键的高手 WB9LPU 专门为“黑豹”升级做了旋钮和固定电键。

英国火腿 G4ILO 更是在其博客上写了数篇博文，对 HB-1A 进行了详尽的评述（博客地址：http://www.g4ilo.com/labels/HB-1A.html），并且专门为其做了一个箱子，方便外出 QSO。

无独有偶，国内的 BA1RB 也同样做了一个箱子，并说：这台机器最大的好处是待机电流很小，电池使用可以很长，发射电流也不大。这就是我为什么使用 HB-1 的原因。这个机器的待机电流很小，用普通锂电具有实用价值。在应急通信或者野外休闲 QRP 通信时很有意义（图 13）。

最后，请允许笔者借用 BA4II 余老师对“黑豹”的评价作为本文的结束语：这些天我一直使用 HB-1A 进行通联，通联了很多国内外朋友，效果非常明显！个人觉得该机和我的 857D 比，音质和灵敏度一点也不逊色！接收 CW 信号的声音悦耳动听，因为耗电很低，我用锂电池供电，外接了个小扬声器，几乎全天开着机守候，非常方便！这个小机器，我真是爱不释手啊！越来越爱她了！

截止本刊印刷前，“黑豹”与“希望一号”卫星特设台BT3WX再一次完成了CW/SSB交叉模式的通联，笔者也录制了许多视频，读者感兴趣的话可以上网搜索BA6QH的优酷视频：

http://v.youku.com/v_show/id_XMTM4MjY3NDY0.html。

天线基础讲座

◎ James W.Healy（NJ2L）著 ◎ 刘燕北（BD2BH）译

说说偶极天线

有关偶极天线（Dipole）的话题，你也许经常在QSO中听到过。那么，什么是偶极天线，它又是因为什么流行至今呢？

自从早期无线电发明之日起，偶极天线就开始广泛地应用了。在广袤的通信领域需求中，简洁、高效的特点是偶极天线得以普遍应用的主要原因之一。在本文中，你将会了解许多远比选择导线振子或绝缘子更有意义的有关制作、安装高效率偶极天线系统的内容。

什么是偶极天线?

偶极天线的得名来自于对称的两个振子——天线由馈电点中心平分天线两臂（见图1）。单极天线比较明显的特征是，单一的振子，一根天线单元。

偶极天线为平衡天线，这就意味着天线两极对称：每边具有相同的长度，并由馈电点向两个相反的方向延展。最简单的偶极天线形式为，天线由导线组成，中心馈电，见图1。

为了让天线谐振，偶极天线电气长度必须是工作频率的半波长。经过实际计算，偶极天线的谐振阻抗范围非常适合常见的同轴电缆馈线。然而，对于偶极天线的效率，在有限的长度内，馈线的长度对天线谐振并不十分重要。对10m波段（28～29.7MHz）到160m波段（1.8～2MHz）谐振半波长偶极天线，其长度为488～7930cm，见表1。

最低谐振频率是偶极天线最基本的理论要求。偶极天线在基本半波长谐振频率上的工作效率最高，但如果天线总长度有一定限制或者空间受限，即使天线达不到半波长的要求，我们仍可以通过调整支撑杆的高度，使得天线尽可能长些。需强调的是天线的阻抗问题，对于半波长偶极天线来说，其奇次倍频也可以获得最基本的谐振频率。例如，一个谐振在2.5MHz的偶极天线，同样可以谐振在7.5MHz、12.5MHz等。这些较高的谐振频率同样适合著名的奇次谐振原理。

TIPS

偶极天线可以有多种安装方法，并不一定都是典型的顶部馈电、平面组合形式。

半波长偶极天线基本长度公式：

$L=468/F$

这里L为天线的长度，单位为英尺，F为工作频率，单位为赫兹。这个公式给了我们架设天线带来了良好的开端。但有的时候，你可能不得不增加或者缩减天线的长度，以接近谐振频率。

在前面曾经提到过，一个谐振的偶极天线工作效率最好。同样，更加重要的还有从发射机到天线高效率的功率传输和良好的天线结构。当天线的长度比实际谐振频率短些或长些时，使用天调可以使天线得到匹配，达到谐振长度效果。另外，传输馈线在天馈系统中也扮演着重要角色。如果你对操作单波段感兴趣，那么谐振偶极天线是你最好的选择。如果你喜欢用单根天线进行多波段工作的话，天线的设计则有些不同。在这种情况下，一个比较好的方法是，选用最低谐振频率天线的长度（此时，天线的最大长度可以达到较高频段的几个波长以上）。

为什么偶极天线如此流行?

对绝大多数的MF/ HF频段操作来说，偶极天线是最容易制作和架设的，当架设高度比较合适时，天线总能取得较好的通联效果。通常是根据使用的波段，天线架设高度可在数米以上。一般情况下，天线要取得较好的效果，架设高度为半波长或者更高一些，但从实用角度来说，尤其是40m、80m和160m波段，要达到半波长的基本要求比较困难。为了取得较好的效果，至少偶极天线要尽可能高些，要有一定的净空度，远离周围的建筑物和大型的物体。

在天线电气高度较低的情况下，很多无线电爱好者做了有益的尝试。例如，80m偶极天线悬挂在两棵15m高的大树上（尽管天线的高度只有不到1/4波长）。但是我们用100W的功率，莫尔斯电码工作模式，同样通联上了欧洲的国家。令人高兴的是，此天线在高频段工作得更好，因为天线的电气高度距离地面更高些。

表1 MF/HF业余波段半波长偶极天线近似长度

频率（MHz）	长度（cm）
28.4MHz	503.24
24.9MHz	574.4
21.1MHz	676.08
18.1MHz	787.9
14.1MHz	1011.58
10.4MHz	1413.16
7.1MHz	2010.44
3.6MHz	3965
1.8MHz	7930

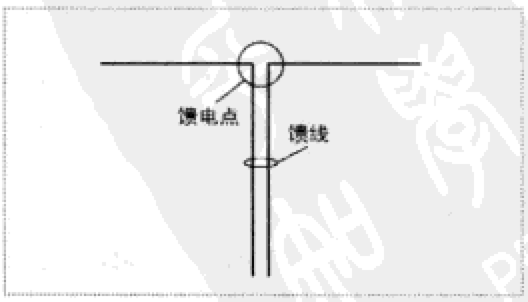


图1 最简单的偶极天线形式

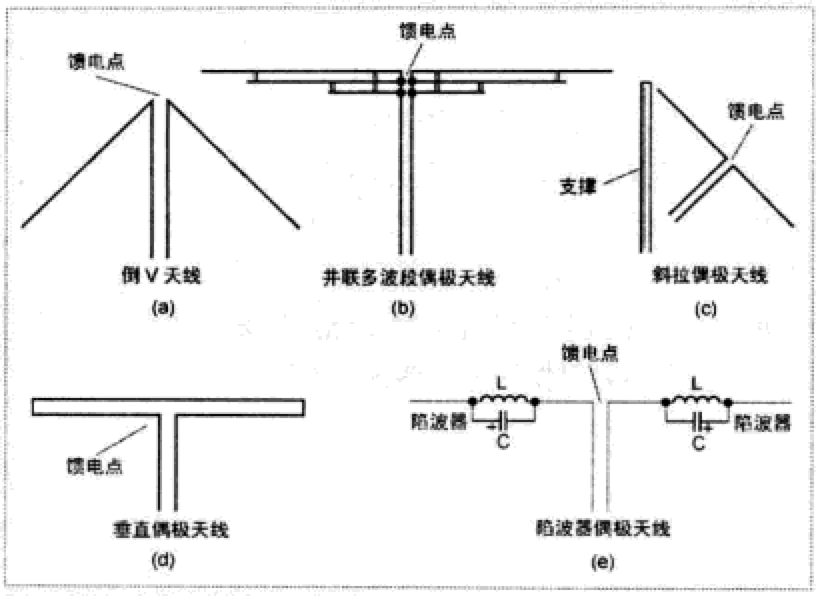


图2 偶极天线的多样性：A，倒V偶极天线，B并联多波段偶极天线，C,斜拉偶极天线，D,折合偶极天线，E．陷波器偶极天线

TIPS

高效率偶极天线系统远比选择导线和绝缘子更重要。

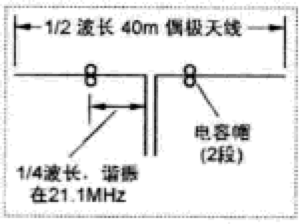


图3 8字形电容帽的使用。

偶极天线的多样性

一些精美的偶极天线，如同其他简洁的事物一样具有可塑性。许多偶极天线较基本的顶端中部馈电、水平安装的偶极天线（见图 1），具有各种各样的变化形式。其中最基本的变化形式包括倒 V（有时称之为下垂偶极天线，如图 2A 所示），并联多波段偶极天线（见图 2B），斜拉偶极天线（斜拉偶极，见图 2C），垂直偶极天线（见图 2D）和陷波器偶极天线（见图 2E）。

倒V偶极天线或许比常见的顶端中部馈电的水平偶极天线具有更多的版本。如你理解的一样，倒V天线由其形状而得名。倒V天线形式的主要优点是天线只需要一个支撑立杆，在一个平面内可以拉多根天线振子单元，这个特点对低波段尤其重要，更适合架设全尺寸的偶极天线。

通常，当倒V天线馈电点高度与水平偶极天线相同时，倒V天线基本上可以获得与水平偶极天线相同的效果。为了保证安全起见，倒V天线的端部距离地面要保持一定的高度，让人和牲畜触及不到，这点十分重要，可避免人畜触电的危险。

TIPS

当我们以适当高度架设时，偶极天线具有制作、安装容易、成功率高等特点。

另外一种常见的天线形式就是多波段并联偶极天线。在这个版本中（图2B），多波段偶极天线单元馈电点并联在一起，用一根馈线，一根支撑杆，天线立杆由比较长的振子（拉绳）固定。并联偶极天线的主要特征是多波段覆盖，每对天线单独谐振，用户可以一根馈线伺服所有的波段，且不需要天调。并联偶极天线的缺点是，与单波段偶极天线相比，带宽变窄，调整复杂。

其他两种常见的偶极天线是陷波器偶极天线和折合振子偶极天线。陷波器由绕制的电感（包括电感和电容）构成，陷波器内、外体结构谐振在某个频率，成为该频率的“绝缘体”，从而在一根天线振子上分离出多个谐振频率，在陷波器谐振频点上，产生非常高的阻抗，阻碍一个频率的电流通过，而形成一个独立偶极天线，同时，使天线的电气长度比其物理长度有所缩短。在比陷波器谐振频率较低的频率上，则具有一个较低的阻抗，由此产生另外一个频率辐射RF，但陷波器并不能使天线的任何部分产生“绝缘”效果。

陷波器不仅可以用在偶极天线上，而且可以用于八木定向天线和垂直等多种流行天线中。ARRL的《天线手册》和《美国无线电手册》两书中都有更详尽的陷波器偶极和并联偶极天线的介绍。

双波段偶极天线

7MHz和21MHz两个业余频段，对初学者和技术等级较低的爱好者来讲尤其适用。偶极天线奇次倍频，可以形成多波段谐振。因为21MHz是7MHz的三次倍频，因此7MHz偶极天线可以谐振在21MHz工作频率上。比较吸引人的是，因为我们架设了40m天线，可以用同轴电缆馈电，不用天调都可以工作在40m和15m两个波段了。

解决这个问题的简单方法如图3所示，从天线馈电点起 1 /4波长处（21.1MHz），两边同时增加容性线段，这就是著名的电容帽加载法。这个简单的加载线段可以在不影响40m工作的情况下，使天线在15m波段较好地谐振。

首先修剪好40m波段谐振频率,然后取61cm长线段两根（例如12～14号导线），并焊接到40m天线上。最后根据15m波段谐振的需要，对两个电容帽同时进行修剪，直至SWR最小为止。你可以在距地面1m左右的高度对偶极进行修剪，升起天线后，SWR不应出现较大的误差，在天线升起之前，再次检查40m波段谐振频点，保证天线在两个频段都能全部谐振。

焊接时要注意，为了保证接点的可靠性，抵御风和天线的影响，我们需要快热的电烙铁对导线等进行焊接。功率30W电烙铁可能不适合16#号以上导线的需要，大件的焊接至少需要100W的“武器”。如使用相对较重的金属导线、陶瓷绝缘子等材料，你可能需要气焊设备（如果使用这些设备进行焊接工作，首先加热焊点，然后移开火焰，用40～60W电烙铁进行金属导线的焊接）。

容易制作成功的单频点发信机

如何快速提高自己的无线电技术水平？自己动手是最好的方法。对于刚入门的无线电爱好者来说，单频点发信机是个很好的动手课题，电路简单、制作容易，成功率高。

◎卜凡

笔者在网上看到一份资料，是美国QST 杂志上的一篇文章，名为“A QRP Transmitter for 30 Meters”。这份资料是介绍 10m 单频点发信机电路的。

结合国内的实际情况，笔者在这份资料的基础上稍微做了些改动，频率改到了目前国内很热的一个CW通信频点——7.023MHz上。现将整个制作过程整理出来，供参考。

电路分析

图1是完整的电路图。

从图1可知，这个电路可以分成3部分，VT1是信号产生部分、VT2是功率放大部分。VT3是键控部分，信号产生部分产生的信号由L1、L2组成的阻抗变换器进入功率放大部分，放大后，再经过L3和C4、C5所组成的低通滤波器，最后通过天线发射出去。键控部分是起开关作用的，VT3这种接法是典型的键控电路。当KEY接通时，VT3基极接地，管子导通，整个电路就开始工作。

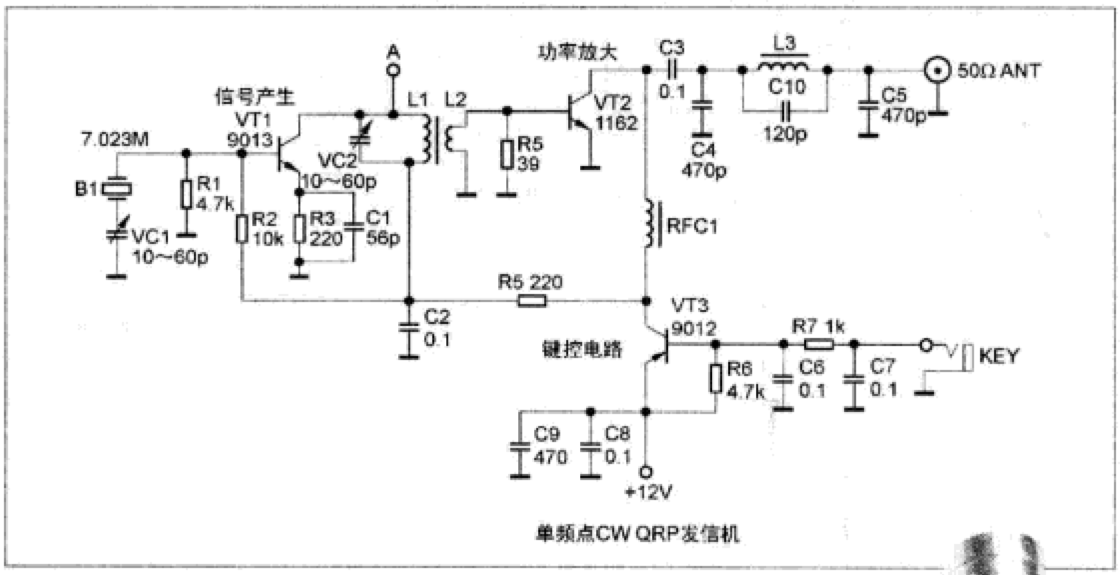


图1 单频点发信机电路图

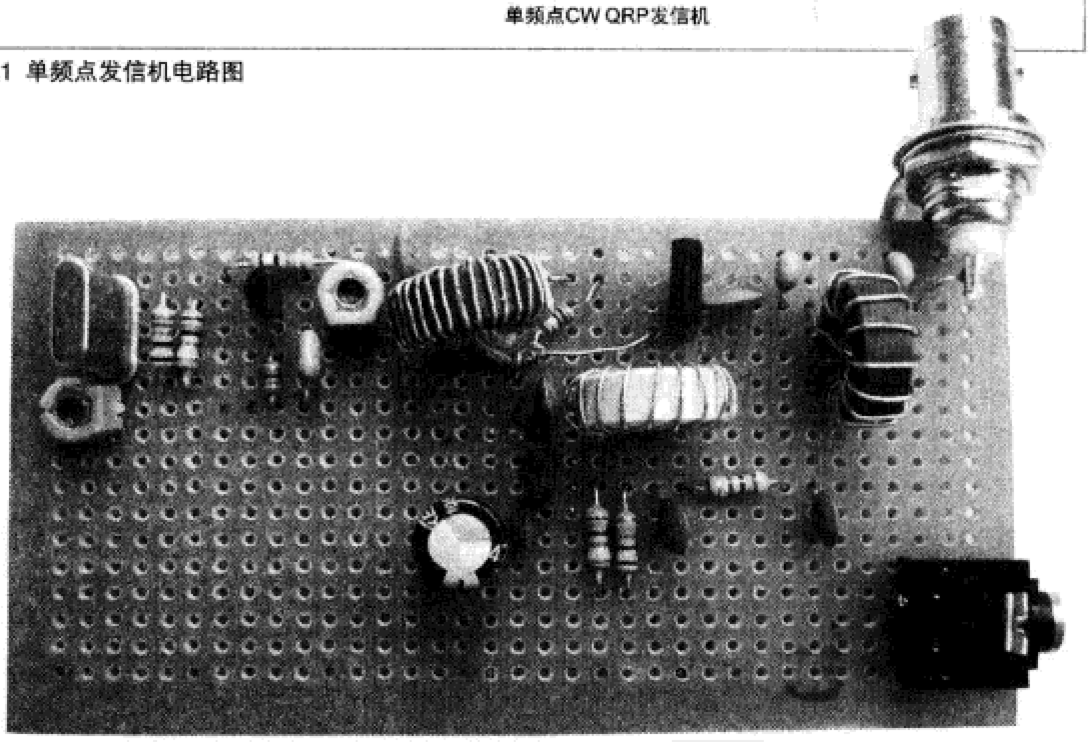


图2 焊接好的实物电路

元器件准备

首先选取一块实验板，不需要太大，10cm×5cm即可。VT1、VT2、VT3分别是市面上常见的9013、1162、9012型号的三极管。晶体选择7.023MHz，L1、L2绕在NXO-10材料、13mm×7mm×5mm的磁环上，L1为30圈，L2为3圈。 L3也是绕在NXO-10材料、13mm×7mm×5mm的磁环上，圈数12圈。RFC1用的磁环是市场上很容易买到的黄白色的铁粉芯磁环，外径为13mm，在其上绕20圈即可。其他元件如原理图所示。按原理图来焊接就行了。

焊接好的实物图见图2。

需要注意的是，VT2可以加一个散热片。如果你要加散热片的话，在焊接电路的时候就要考虑好VT2的位置，以便放得下散热片。不过因为功率小，经笔者实验，不加散热片问题也不大。

电路调试

焊接好后，可以用你的收信机和频谱仪来进行调试，当然，对这个电路的调试频谱仪并不是必要的。

开始给发信机上电时，因为没有

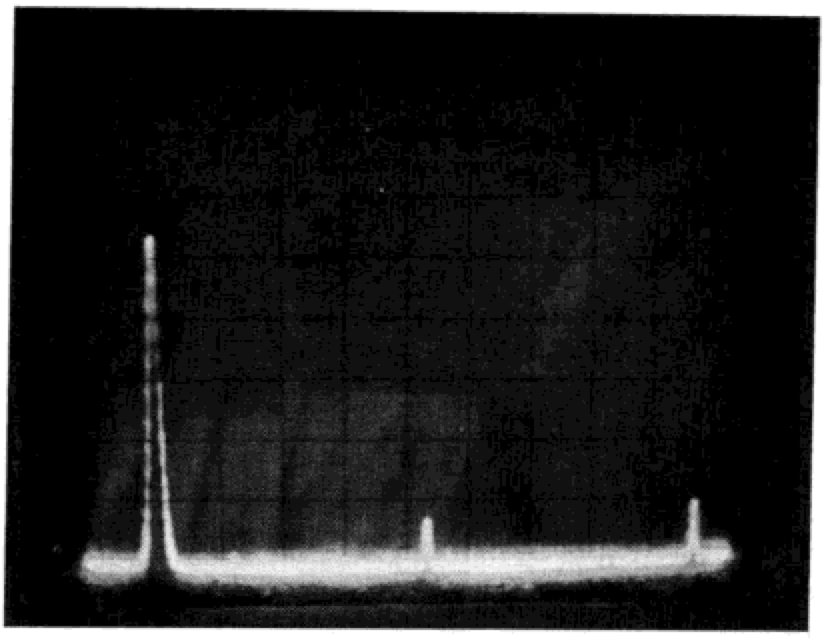


图3 实测的天线输出端的频谱

按下电键，所以整个电路没导通，电流应该为零。如果你的电源上的电流表先显示有电流的话，请检查电路是否连接正确。把你的收信机的频率调到7.023MHz，然后把天线输出端通过传输线连到假负载上（最好是可以读出输出功率的假负载，可以方便测功率）。这时按下电键，应该可以从收信机上听到信号，如果听不到，可能是频率偏离得太多，此时可以调节VC1，进行校准频率。调节VC2，观察收信机的声音和功率，使其达到最佳状态。如果你有频谱仪的话，可以很直观地观测调节VC2时的情况，把频谱仪的探针负端接地，正端接A点，可以看到我们所要的频率7.023MHz和我们不需要的谐波，调节VC2的目的就是为了提高7.023MHz的信号强度，抑制谐波的信号强度。

C10是笔者在低通滤波器上加的调节电容，目的是抑制2次谐波。你可以先用一个普通的双联可变电容连到电路中调试，达到最佳状态时把它取下来，测量一下电容值，然后用一个最接近的电容替代即可，如此，整个发信机就可以调节到最佳状态。

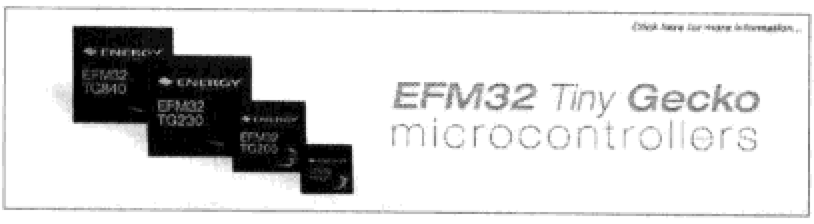
笔者实测12V时的输出功率约为1W，如果电压增大到18V，输出功率可以达到大约2W，不过此时VT2就必须要用散热片了。

图3是实测的天线输出端的频谱，可以看到，2次谐波和3次谐波的抑制都大于40dB，完全满足QRP发信机的杂散抑制要求。

用这个简单的发信机配合已有的接收机就可以进行通联了，虽然只有1W的功率，但配合一个不错的天线，在有传播的时候很容易联络到电台。让我们用自己DIY的小机器去享受通联带来的乐趣吧！

Energy Micro推出EFM32系列“小壁虎”微控制器

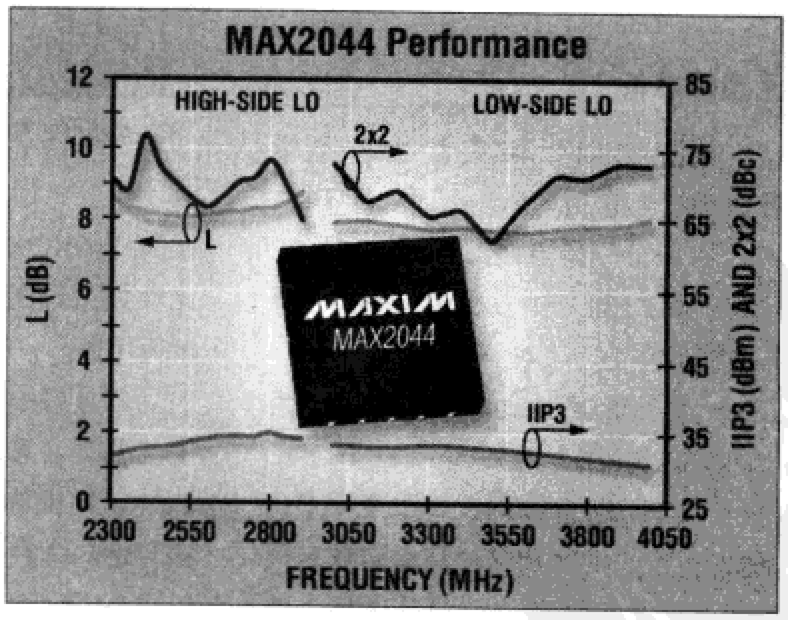
Energy Micro公司推出其系列入门级芯片，能应用于电路板空间和产品成本受到严格限制的低功耗领域。EFM32“小壁虎”（TG）微控制器低于1美元，节能性却与该公司较大的“壁虎”产品不相上下，具有结合更小Flash 和RAM 的特点，有QFN20、QFN32 和QFN64 封装可以选择。32 位的“壁虎”产品采用节能的ARM®Cortex-M3 架构，其电流消耗量非常低，在活动模式下执行来自Flash 的实际代码时每兆赫所耗电量仅为180μA。“壁虎”微控制器的独特之处在于它的“peripheral reflex system（周边反射系统）”（PRS）可与标准的32 位ARM 总线并行。PRS可使EFM32“壁虎”外围设备自主运行和交流，而中央处理器是关闭的，可延长睡眠时间并节省大量能源。



飞兆推出便携式应用OVP器件FAN3988

飞兆半导体推出一款带有高集成度的过电压保护(OVP)和USB/充电器检测功能的器件——FAN3988。它专门为锂电池提供保护功能以避免充电电路故障。FAN3988具备内置自动检测功能，通过连续监控短路条件下USB的D+ / D-线，检测是否连接USB充电器，还可通过监控VBUS来检测过压或者欠压状况。器件可以在检测到过压时，立即禁用外部P沟道MOSFET。该系列的另一个成员FAN3989的性能与FAN3988类似，但内置了一个MOSFET。

登录飞兆半导体官方网站: http://www.fairchildsemi.com可申请免费样片



收发信机DIY实战

◎时刻（BA6BF）

袖珍式短波单边带收发信机

前几期杂志，笔者为大家介绍了一些由NE602组成的简易单边带收发信机，使用NE602做单边带收发信机是一件很容易的事情，但是NE602天生的缺陷又使得接收机的动态范围和信噪比都不能达到让人十分满意的水平。如果前级带通滤波器做得不是很考究，则很容易在傍晚和夜间产生广播干扰等现象。虽然这种情况在简易型的短波机器中很常见，但是往往让人感到不舒服。

2009年10月，我的一位好友同我聊起想做一个接收性能比较好的短波机器玩。构思了一段时间，把设计做出来了。相对于以前的设计，笔者重新设计了整套方案，完全抛弃了NE602+MC1350+NE602的电路架构，而采用双栅极场效应管做中频放大，这样就把机器的本底噪声大大的降低了。变频级使用了零增益的UPC1037，动态范围也相对NE602有了非常显著的提高。样机做出来以后，实际收听效果非常理想，无论抗干扰性能、灵敏度及信号可辨度相对于以往的简易设计都有了很大的提高。

该电路的设计指标：

工作频率范围：3.5~3.9MHz 7.0~7.3MHz，14.0~14.35MHz，21.0~21.45MHz

接收机选择性：2.3kHz/6dB 3.3kHz/60dB

接收机灵敏度：0.2μV/10dB S/N

发射机输出功率：15W

电路原理

图2是模拟电路的方框图，可以看到仍然是采用了经典的滤波法单边带

图1 收发信机

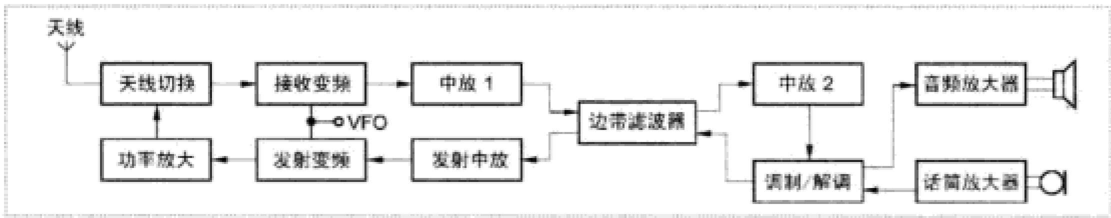


图2 模拟电路部分的框图

电路。图3是数字电路单元的方框图，这款电路具有功能丰富的软件功能，并且还内置了自动键单元。

DDS+PLL频率合成器（VFO）：

本机振荡器采用了DDS来做基准的单环锁相环控制的数字频率合成器，具有DDS小步进和PLL低噪声两方面的优点，又同时避免了DDS和PLL的缺点。MC145162是摩托罗拉公司生产的单片锁相环集成电路（PLL），它和VCO组成单环频率合成器，步进为10kHz，这样它就可以获得很低的相位噪声指标，并且环路的锁定速度很快。VCO由8050晶体三极管及背靠背连接的变容二极管组成，它有两个振荡频率范围。为了简单起见，使用单片机控制的继电器对谐振电感作自动切换。AD9832是ANALOG公司生产的单片直接数字频率合成器，在本机中它的输出频率为455kHz左右，该输出频率作为PLL的基准时钟，而DDS具有极小步进的特点，所以PLL在分频比不变的情况下，DDS的小步进频率调节，同时也使PLL的频率做小步进的变化。按照这个原理，单片机同时对DDS和PLL作协调的频率变化动作，从而实现了PLL的10Hz频率步进。同时也没有失去PLL输出相位噪声低的优点。模拟电路图见图4。

接收信号流程：

天线接收到的信号经过相应频段的带通滤波器（BPF），滤除掉带

外干扰信号。UPC1037组成平衡混频电路，接收信号和VFO送来的本机振荡信号在UPC1037中进行混频，产生8.4655kHz的中频。双栅极场效应管3SK131组成第一级调谐中频放大器，它把混频级输出的中频信号进行放大后，送入中频边带滤波器。第二中频放大器仍然由3SK131和相关元件组成，这两级中频放大器提供整机主要的高频单元增益。

以往我们经常会使用MC1350作为中频放大，需要说明的是MC1350主要设计是用于早期电视机中作为视频放大。在短波单边带接收机中是一种变通使用，而且它的外围电路很简单，也不需要调整，所以曾一度得到很多爱好者的喜欢。但是，MC1350的噪声相对很大，动态范围也不是十分理想。

由于本机设计的目标是低噪声、大动态的接收.所以笔者最后放弃了MC1350的方案，而使用两级3SK131为主的调谐放大器。实践证明，这个决定是正确的。由于3SK131的噪声系数远小于MC1350，所以本机在开中等音量时，不接天线，几乎听不到本底噪声。这和以往使用MC1350的时候，有完全不同的感受。唯一感到不方便的是，3SK131是SMD封装的场效应管，焊接时要格外小心，调谐回路也要仔细调整。

为了简便和减小体积，单边带解调和调制仍然由NE602担任。因为它处理的是纯净的窄带中频信号，所以NE602动态范围小的缺点在这里并不明显。由于NE602还自带了BFO振荡器，同时具备两个输入和输出端口，这样对于减小体积和简化电路设计还是有很大好处的。

低频信号由LM386放大到200mW左右送给扬声器，LM386是最常用的单片小功率音频放大器。

发射信号流程：

发射状态是接收状态的逆过程。话筒放大器把话筒的微弱音频放大到100多毫伏的幅度，送入NE602做平衡调制。调制输出的是载波抑制的双边带信号，双边带信号通过晶体边带滤波器滤除下边带频率分量。3SK131组成发射中频放大器，把晶体滤波器输出的上边带信号放大到足够的幅度。由于这一级中频放大器的输出是调谐回路，所以它的输出频谱可以很干净。UPC1037在这里用于发射频率搬移，把8.4655MHz的中频信号搬移到我们需要的频率上去。波段带通滤波器是接收和发射共用的，它负责选出我们需要的频率分量。

功放单元是我们前面已经介绍过的电路形式。2SC3357做前置放大，D882给出功放末级推挽放大器所需要的0.5W的激励功率。因为本机需要工作在21MHz波段，所以末级推挽放大选用了IRF530，因为IRF530的极间电容要远小于IRF640，比较适合在高频率工作。

介绍电路流程如同排列流水账一样，是不是有些枯燥无味呢，还是聊聊有点意思的话题吧。

这款机器的软件及数字单元（见图5）颇费了笔者一翻心思。在设计中，我使用了AVR单片机ATmega16L，它内部有ROM，可以当作机器状态存储器使用，这样我们的当前频率、存储信道及各种调节参数都可以存放在这个ROM里。虽然只能设置10个存储信道，但是毕竟节省了一个外置ROM的空间，而且这样的小机器有10个信道也足够用了。机器设置了软件开关机电路，长按POWER键可开机，长按POWER键关机。这个POWER键还可以控制LCD显示器的背光，短按POWER键就可以在开背光和关背光之间循环切换。

菜单中设置了中频增益控制电压，可以用按键对机器的增益作连续的调节。AGC控制也在软件中实现，可以在菜单中选择AGC开或关。在隐藏菜单中，可以对时钟频率及各工作模式进行频率校准，还可以选择CW侧音的音调等。虽然软件功能无法和现代高档商品电台相比，但是作为这么一款小电台的日常使用也是该有的都有了。

机器的工作频率关系

由于这个机器是为纯粹的业余无线电用途设计的，所以取消了上下边带的选择，而是由程序自动控制，在10MHz以下波段使用LSB，而到10MHz以上自动转为USB模式。希望读者能回过头去看看前几期关于SSB工作原理的文章，以更好地理解这个电路的工作原理。

机器的IF（中频）为8.4655MHz的USB，那么如果我们采用差频方式，就可以得到LSB信号，而采用和频方式就仍然得到USB信号，同时我们也可以利用这个原理得到我们希望的工作频率及工作方式。

这款机器的频率合成器中设计了2个VCO振荡线圈。20m波段单独设置了1个，而其余3个波段共用一个VCO。

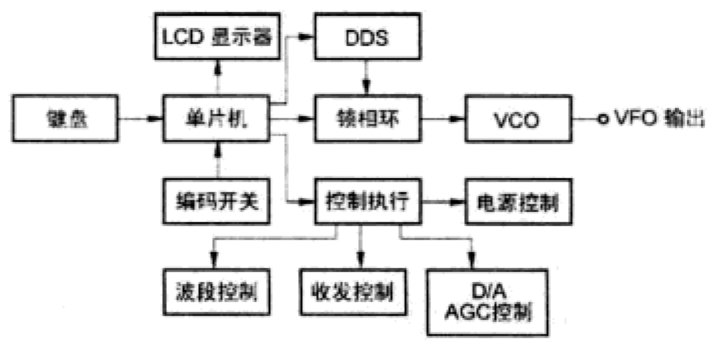


图3 数字电路部分的框图

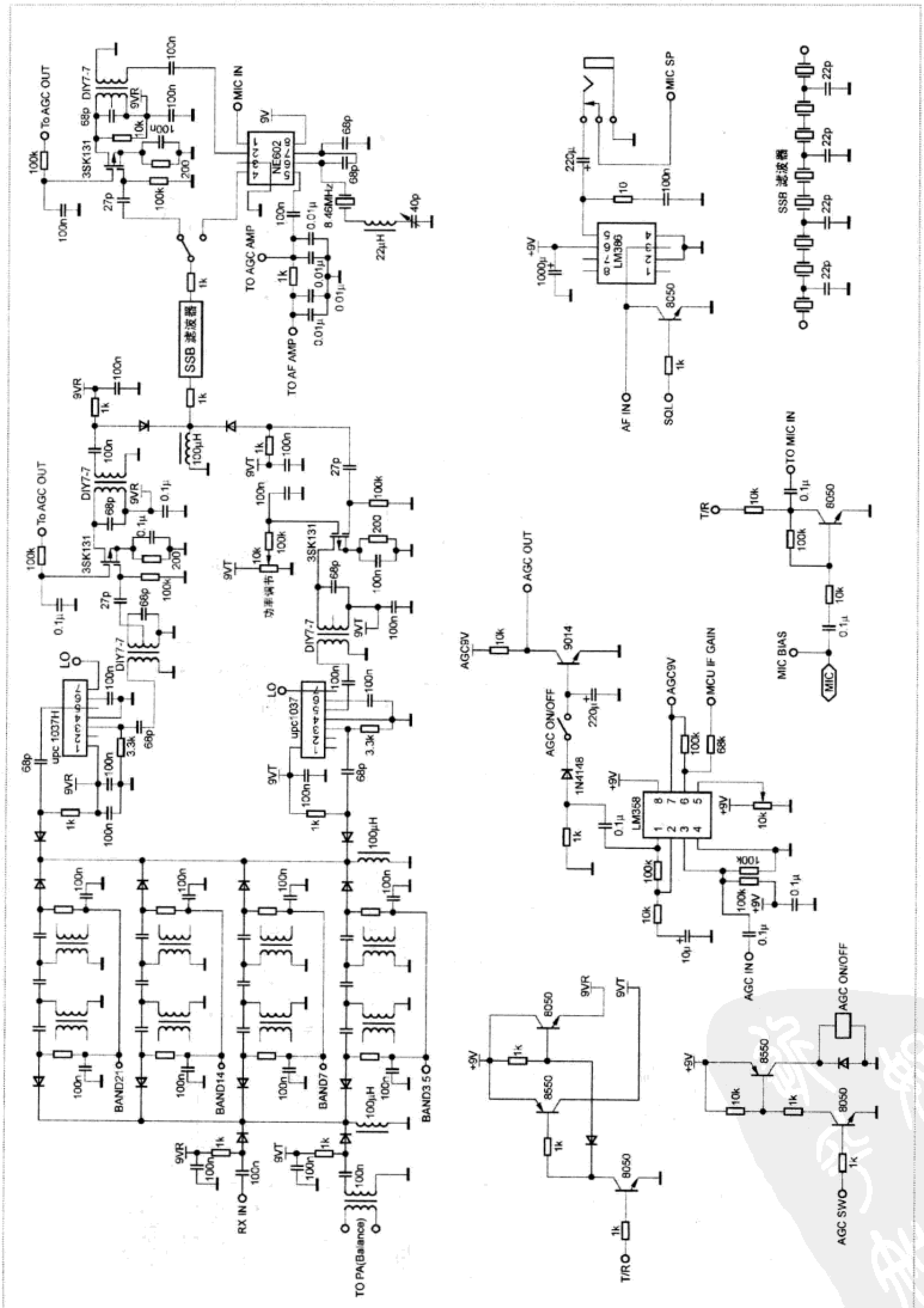


图4 收发信机模拟电路部分

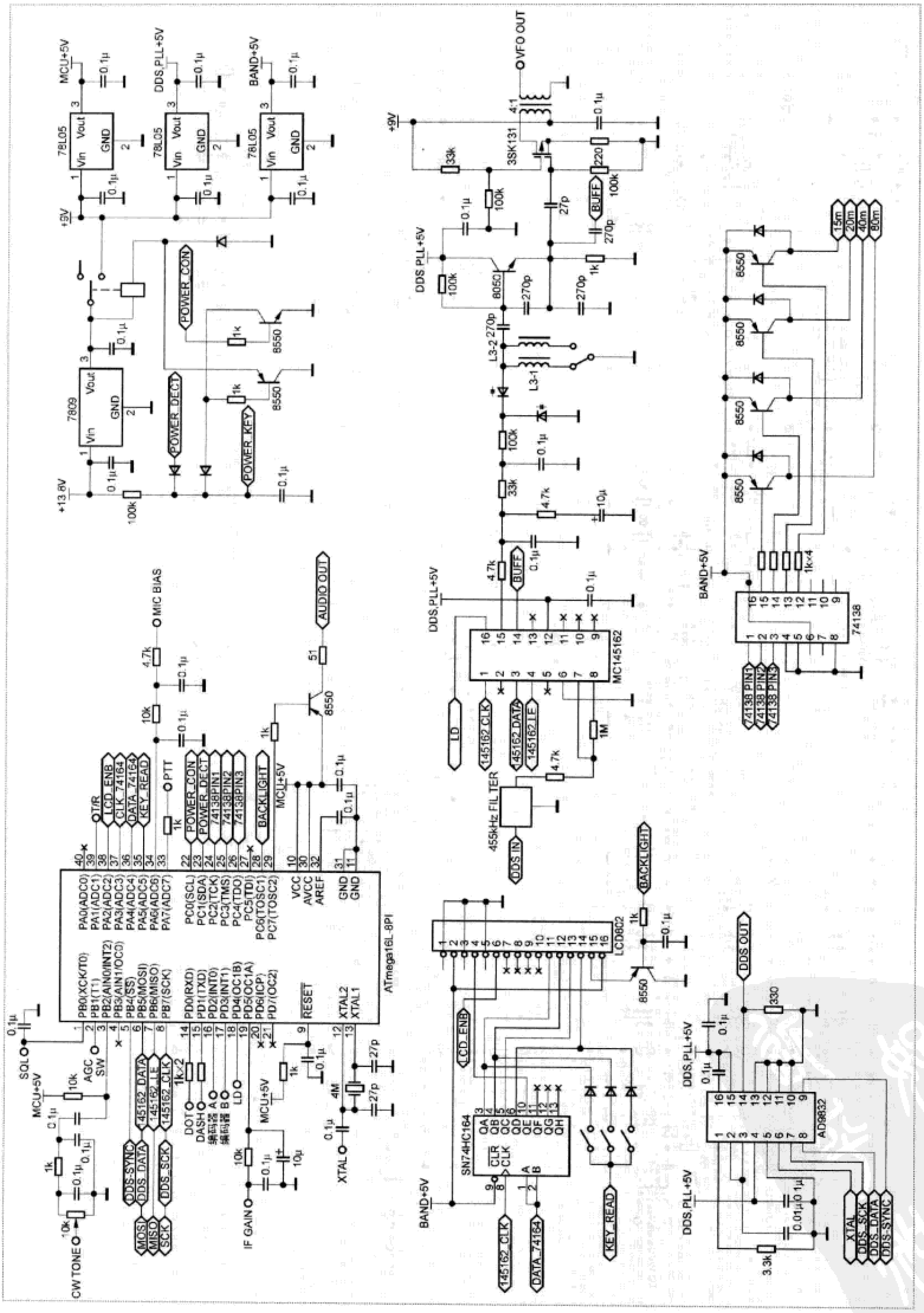


图5 收发信机数字电路部分

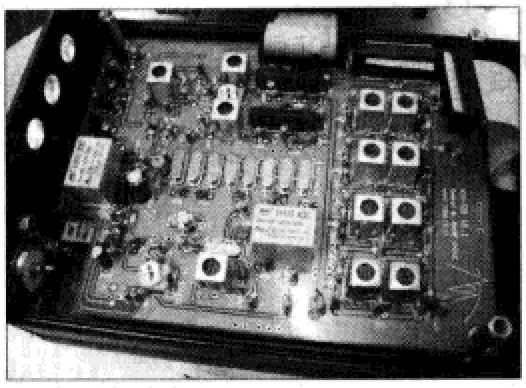


图6 模拟电路板

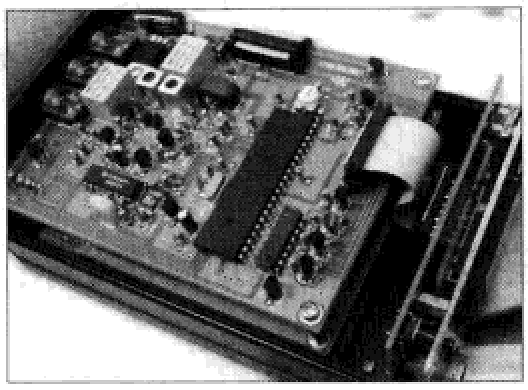


图7 数字电路板

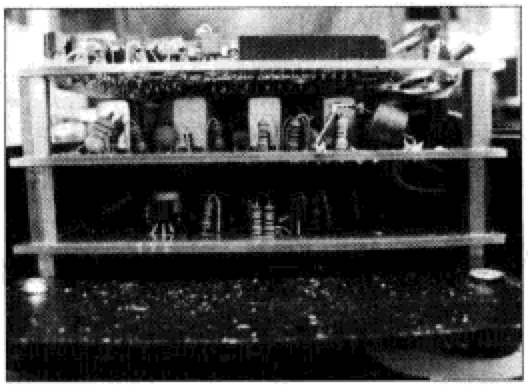


图8 从上至下依次为功放板、模拟板、数字板

这样，就把频率合成器的设计大大简化了。而且，由于在转换波段和模式的时候，BFO并不做任何变化，所以只要在任何一个波段上把BFO调整好，那么在其他波段中的工作都会完全一致。所以，不会存在机器换用不同的模式，音质、音色会发生变化的问题。

制作说明

笔者设计的这款机器总共有4块PCB，分别是模拟主板（图6）、数字板（图7）、线性功率放大器板及控制板。功放板插在铝型材机箱底侧的凹槽里，然后模拟板和数字板依次用15mm的六角铜柱做支撑，摞在功放板上，见图8。控制板单独通过10mm的六角铜柱和前面板安装在一起，液晶显示器和按键正好可以从前面板开好的孔中露出来。

各PCB之间使用20PIN排线做电气连接，在调试的时候也需要把排线连好，这里似乎不太适合于装一个单元调一个单元的模块化安装方法，其元件数量也比前面介绍的简易收发信机要多，在安装时为了尽量不出错，最好的方式就是看准每一个零件以后，再装到它应该在的地方，有任何吃不准的地方都要完全搞明白再继续。

调试步骤

在反复检查没有安装错误之后，就可以通电试机。在通电之前，一些必要的仪器和装置还是要准备好的。一般来说，需要做以下准备：

1. 一台1～2A带限流保护的12V稳压电源，如果没有的话，也可以用一只7812自制一个代替。由于7812提供不了1A以上的电流，所以即使有短路故障，也不会造成大的损失。而对于接收来说，1A的电流是绰绰有余的。

2. 一个数字万用表。用来检测整机电流，或用来测量集成电路及晶体管的电压。

3. 一个足够灵敏的频率计，也许用它可以把机器的频率校准好。当然，没有它也是可以的。

4. SWR功率表，可以用来测试输出功率的变化。

5. 一副SWR小于1:1.5的天线或50Ω的假负载，这在进行发射调试的时候是必不可少的。

这款机器的调试点并不多，主要进行以下几个方面的调试：

VCO的频率覆盖调试：

调节数字板上的L3-1 VCO线圈，还需要仔细调整的是L3-2。

接收带通的调整：

调节80m波段的谐振中频放大器。

拍频振荡器频率调整：

调节NE602第7脚旁边的微调电容。

AGC起控点的调节：

该电路的AGC的起控点很关键。如果起控点过早，则弱信号容易被AGC压掉，如果起控点太晚，则强信号就不容易被控制。把机器菜单中的AGC和IF增益调出来，然后把增益指示条调到最小。调节模拟板上LM358旁边的可调电阻。

在调试时，电源和机器之间串联一个万用表的安培挡，把机器调整到SSB模式。按下PTT，机器处于发射状态，但是不要对话筒讲话。眼睛盯着万用表的读数，然后用螺丝刀仔细调节功放旁边的可调电阻，使整机的静态电流达到800mA左右即可。

这款机器的电路和调试相对于前面介绍的简易机器都要复杂一些，但性能却会提高很多，比较适合动手能力较强的爱好者进行实验。如果调试得当，通联效率还是很高的。

本期到此，这次有关业余无线电DIY的连载也到了尾声。仿佛说了很多，但回过头来仔细看看又觉得留下诸多遗憾。这半年来和读者们在《无线电》上进行的交流，希望可以起到抛砖引玉的作用，更加希望能对国内的业余无线电爱好者们起到一点帮助作用。惟如此，方不辜负编辑们的信任和期望，我也能得以心安。

编者注：高频收发电路无论在制作还是调试上都有一定难度，因此套件组织难度相对较大。对这款机器有购买兴趣的读者，可以发EMAIL至radio@radio.com.cn来登记预定这款机器，编辑部将根据读者的预定情况联系机器套件的生产和销售，为读者提供服务。

一个被ARRL HANDBOOK多次收录的经典电路
一个CW爱好者心中理想的小功率收发信设备

◎张辉（BA6IT）

微弱与简洁之美

——“鼹鼠”微功率40m波CW收发信机制作心得

CW这种古老的通信方式虽然已经出现了100多年了，但仍然在业余无线电领域散发着迷人的魅力。至今全球仍有众多业余无线电爱好者在使用CW模式和莫尔斯码语言来进行通信，每年还有数万人参加纯CW模式下的无线电比赛，比如CQWW和WPX等。可见，这种模式虽然古老，但并不过时，因为它有自己的优点，比如，占用很少的带宽（一个信号可以只用300Hz甚至更小）；需要的设备最简单，发射部分只需要一个基本的高频振荡器就可以产生所需要的等幅电波；对信噪比的要求比SSB语音模式低，甚至低10dB，还能有效地进行通信等。这些特点正是CW受到无线电爱好者青睐的原因。

在火腿族中，有一类喜欢小功率通信的群体，他们追求的是用最小的功率通达最远的距离。因为小功率通信更加具有挑战性，对自己的技术和设备、天线都提出了更高的要求。而且相比之下，小功率通信似乎更有环保意识，只需要很少的电源供给和功率输出。你可以在周末郊游时，带上自己DIY的、输出功率只有几瓦特的小型收发信机和天线，一边欣赏野外的景色，一边享受QSO（通联）的乐趣，实在很惬意，而且自己动手DIY收发信设备也是一件充满乐趣的事情。

笔者自从拿到了业余无线电执照以后，经常到国内知名的CW乐园频点——40m波段7023kHz和全国各地的爱好者以CW的模式进行通联。国内的CW爱好者、手键爱好者、QRP低功率通信爱好者基本上都活跃在这个频点上。每天的早晨和傍晚是频率上最热闹的时候。传播好时，2~5W的输出功率就能通到大半个中国的业余电台，笔者就曾经有过多次QRP小功率和国内各区电台通信的愉快经历，因此也激发了自己DIY一台功率更小的QRP电台的决心。

我希望心中的这款小QRP机器具备以下特点：

☆功率很小，在1W以下即可。

☆耗电要特别节省，可以在接电池的情况下使用较长时间。

☆接收部分性能要比较优秀，希望能够接收到远程DX的信号。

☆使用可变晶体振荡器（VXO）可以工作在7023kHz附近的几kHz的范围。

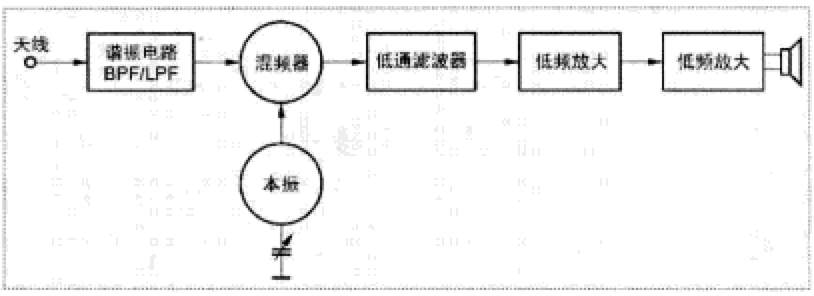


图1 电路方框图

☆为了电路简单，可以不要收发切换电路，采用开关控制T/R转换。

有了以上想法后，笔者就开始利用业余时间查阅资料和选择电路。首先发现了一个很合适的接收机电路，是美国QST杂志1995年8月介绍的直接变频式接收的小接收机，由WI5M设计。这款接收机采用SBL-1高性能的平衡混频器件，并有有源音频滤波电路，非常适合接收CW使用。这款电路也多次被收录进了ARRL的《美国无线电手册》，说明其设计上是有独到之处的。直接变频接收机是简单结构接收机中性能较好的形式，它直接把高频信号变成音频，电路非常简洁，一般由高频带通滤波器、本振、平衡或双平衡混频器以及低频放大组成。典型的方框图如图1所示。

这个采用SBL-1的直接变频接收机的原理图如图2所示意。从天线进入的高频信号先经过C1、C2和L1组成的低通滤波器，以滤除掉高于40m波段的无用信号，并可以避免接收机本振的倍频信号和干扰信号混频产生干扰。由VT1组成可变晶体振荡器（VXO）作为本振，振荡频率可以由晶体上串联的L2和C7拉下来少许。下拉的程度由L2的值和晶体的结构决定。如果使用特定类型的晶体和较大的L2数值，最多可以拉到50kHz左右，还能保持稳定的振荡。但市面上能找寻到的一般晶体只能拉到0.1%左右，也就是7kHz，这对于一款简单的QRP机器也够用了。IC1把高频信号和本振信号进行混频，并输出两个频率之和的频率和差频，我们不需要两个频率之和，只需要其差频，也就是信号频率和本振信号足够接近时合成的音频信号。这些信号由IC2B组成的有源低通滤波器进行滤波，然后由IC2A和IC3进行进一步音频放大后输出到耳机或扬声器。

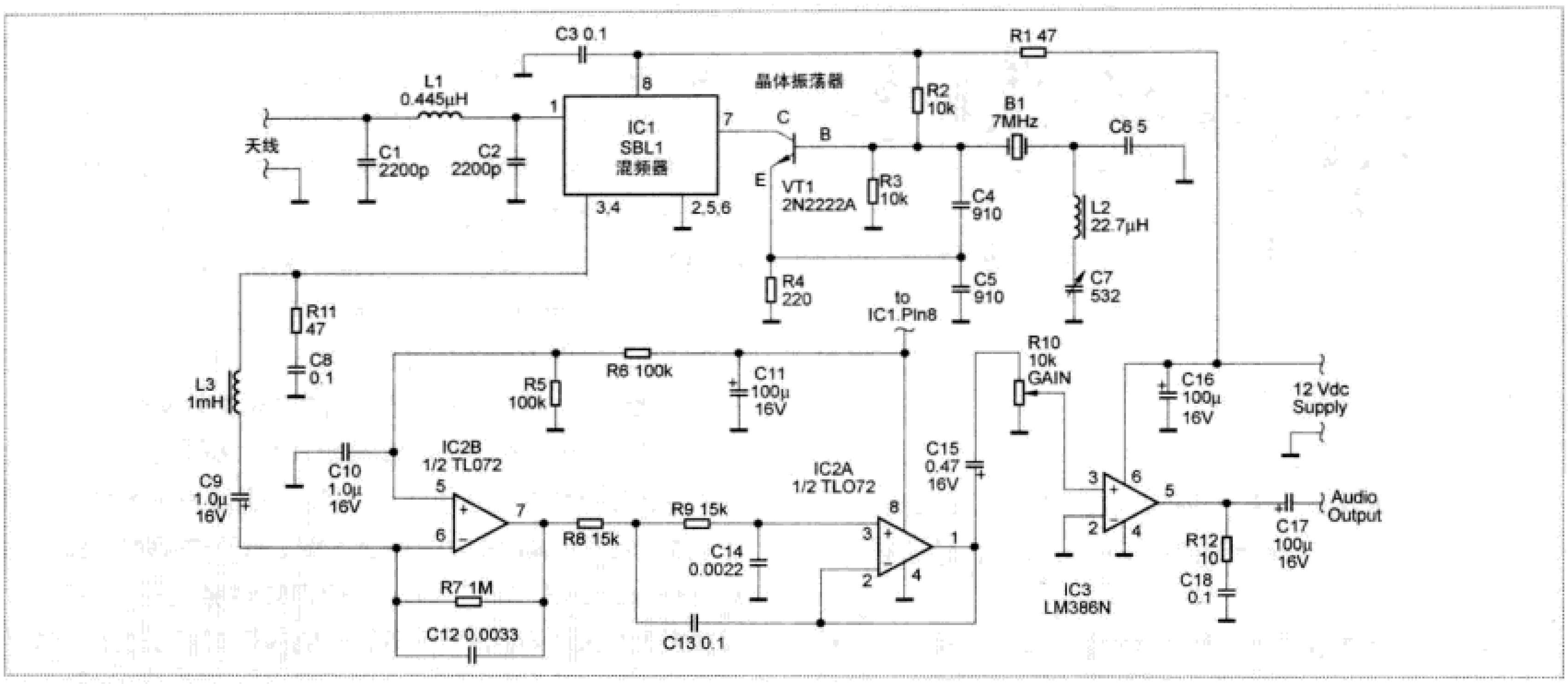


图2 直接变频接收机原理图

实际制作的时候，IC1 使用 SBL-1 商品混频器件，它的内部已经包含了 2 个高频变压器和 4 只高频肖特基二极管。IC2 使用 TL072 或者 TL082 JFET 型运放都可以，IC3 是普通的音频放大 IC LM386N。所有电阻均使用 5% 精度 1/4W 的金属膜即可，电解电容的耐压要有 16V，0.1μF 电容可以用独石或瓷片型的。C1、C2 可以用云母或瓷片电容，C4~C6 可以用聚苯乙烯或云母介质的，其他电容无特殊要求。L1 用直径 1mm 的高强度聚酯漆包线，在直径 20mm 的 PVC 管上绕 4 圈，拉到 16mm 左右长。接收时，拉伸或缩短线圈的长度，使接收机的声音最大。L2 是 22.7μH 的电感，可以用有磁芯的成品电感；L3 是 1mH 的高频扼流圈，可以用有磁芯的成品电感，也可以自己制作，制作时用 Φ0.25mm 的漆包线在 FT-37-72 磁环上绕 34 圈。VT1 用 2N2222 或类似的晶体管，B1 使用 7023kHz 晶体，可以工作在 7016~7023KH$_z$ 的范围内。C7 用一般收音机里的 270pF 双联可变电容，薄膜或空气的都可以，将两联并联使用。

电路可以装置在 PCB 上，因为频率较低，也可以用搭棚和俗称的“死虫”混合的方法制作。直接变频接收机（DCR）的缺点是有“麦克风效应”，因为低频放大部分的增益在全电路中占的比例非常高，可以达到 80~100dB，所以有时能听到一种类似铃声和“暖水瓶效应”的声音，这是机械振动反馈到电路中造成的。避免这种声音的方法是所有元件的引脚要尽量短且坚硬，并且减少电路中固定不牢的地方。

DCR 电路的另一个缺点是有共模哼声，采用电池供电是最有效的解决方法，如果用稳压电源，可以在电源引线上串联一些磁环来解决这个问题。这款电路的 PCB 图纸可以到 ARRL 网站上下载，地址如下：http://www.arrl.org/notes/hbk-templates/rbr.pdf。

笔者做好的接收部分的实物如图 3 所示。这个电路很简单，基本上一搭就成。根据原电路设计者的实际测试，机器的灵敏度大概为 0.3μV，幅度为 1μV 的信号可以轻易地抄收。对于 40m 波段，这个灵敏度已经很不错了，因为电离层噪声和环境中的人为噪声的存在，14MHz 以下电路中过高的灵敏度是没有意义的，因此即使再加一级高放也没有什么作用。

我做好这个电路后，对它的接收能力非常满意，在晚上可以非常容易地接收到国内和周边国家的信号。传播好的时候，晚上可以收到来自美国西海岸的信号，后半夜到凌晨可以收到很多欧洲业余电台的信号，这些都是用家里的普通倒 V 天线配合完成的。接收条件受到天线和环境的限制，如果

图3 接收电路的实物

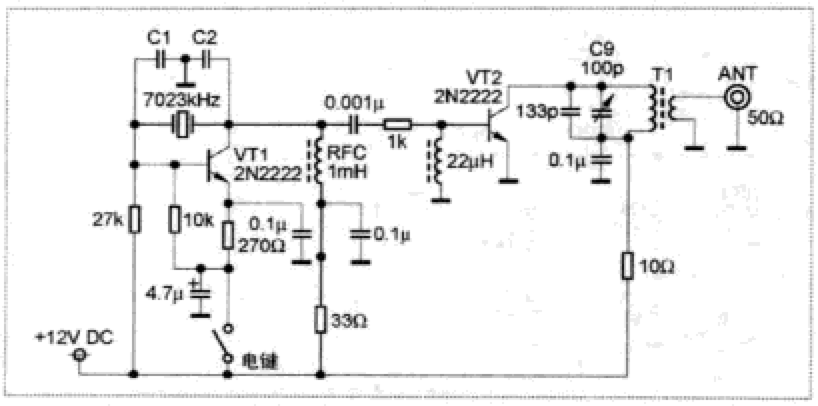


图4 输出只有60mW的发射电路

有更好的天线和电磁环境，应该能收到更多的DX信号。平时作一般应用时，和我的商品电台FT-897相比，感觉差异不大，而各有千秋。

这个小机器的噪声比较低，整机接收电流非常小，只有20~40mA，所以我在家使用时都一直接在一个4Ah的小电瓶上，几乎不关机。机器输出接了一个车用的小音箱，因为机器没有设置AGC电路，所以平时没有信号时，站在1m以外听，扬声器里只有轻微的背景噪声，当传播开通时，就会听到“嘀嘀嗒嗒”的小信号出现，微弱但很清晰。因为CW信号的特殊穿透性，虽然音量不大，但有时候走到隔壁屋子里还能分辨。当突然有好的传播和强的信号出现时，扬声器里的音量变得非常响亮，清脆而干净的声音听起来非常悦耳。所以，有很长一段时间我一直把天线接在这个小机器上，用于守听7023kHz频点，感觉非常方便。如果你对收听单边带信号感兴趣，可以把电路中C12~C14的容量改成0.001μF，音质会更好。

这个机器实际接收效果的录音在hellocq.net论坛上可以下载，在优酷网上我还上载了两段接收效果的视频，其中有一段视频是接收武汉的BA6QH用5W功率的“黑豹”QRP电台和美国火腿W7CB做通联的情形，他们那天的通联正好被我听到并录下来了。音频和视频的链接在下面地址可以查阅得到，有兴趣的朋友可以去看一下：

http://www.hellocq.net/forum/showthread.php?t=207225。

制作这个小接收机只花了我一个周末的时间，不算外壳的话，成本还不到50元，既享受到了DIY的乐趣，又多了一件HAM设备，实在很满意。但美中不足的是，它只是个单纯的接收机，所以我决定再给它配一块发射电路，让它成为一个完整的QRP设备。

发射部分的资料很多，我选择了W1FB QRP手册上一个输出只有60mW的电路，如图4所示。电路由VT1组成晶体控制的皮尔斯振荡器，VT2和外围元件组成功率放大级。C1、C2的容量在10~100pF选择。高频变压器T1初级次级的匝数比为5:1，自制时用Φ0.4mm的漆包线或者双绞线中的一股绕制在美式T50-2磁环上，初级绕25匝，电感量大约3μH，次级5匝。振荡级和功率放大的两只三极管用2N2222、2N3904或者2N4000都可以。电路的供电电压在12V时，整机电流大概在30mA左右，输出功率在50~75mW。整机焊接完毕后，用一个100mA的电流表串在VT2的集电极上，调整C9的容量，使电流表指示最小即可。

这个发射电路也是一次调整成功，工作电压和接收机一样取12V，发射的电流在调整后为30mA左右，竟然比接收机的电流还小，可真是名副其实的微功率发射设备。

我制作的电路最后测试的输出功率大概是50mW。因为笔者的天馈系统并不是很好，只是一根架设在7楼楼顶的倒V天线，发射机输出的功率经过大概25m长的馈线，损耗估计也有1dB左右，这样下来，ERP有效辐射功率，系统计算馈线损失和天线增益后的功率）可能只有40mW左右。做好的发射板的样子如图5所示。

因为这两个电路是独立工作的，要装到一起需要涉及天线和电源切换的问题。当然，可以装一个收发切换电路来解决，但是为了简单起见，我用了一只双刀双掷的开关来进行手工的收发切换。电路原理见图6，天线部分的连接线要使用50-1或50-2的同轴电缆，组装好的整机的照片见图7。

这么小的功率能进行有效通联吗？会不会淹没在很多爱好者接收机中常年S9的噪声下呢？事实上我还是很有信心的，因为我以前曾经以近似的功率通达过外省的电台。去掉假负载接上天线，正好听到BG4LGF在频率上呼叫CQ，小接收机的扬声器传来的他的信号还是很强的，等他呼叫完毕，试着发了两遍自己的呼号，竟然一次叫通了。双方交换了信号报告后，我到地图上查了一下他的QTH（位置），在山东

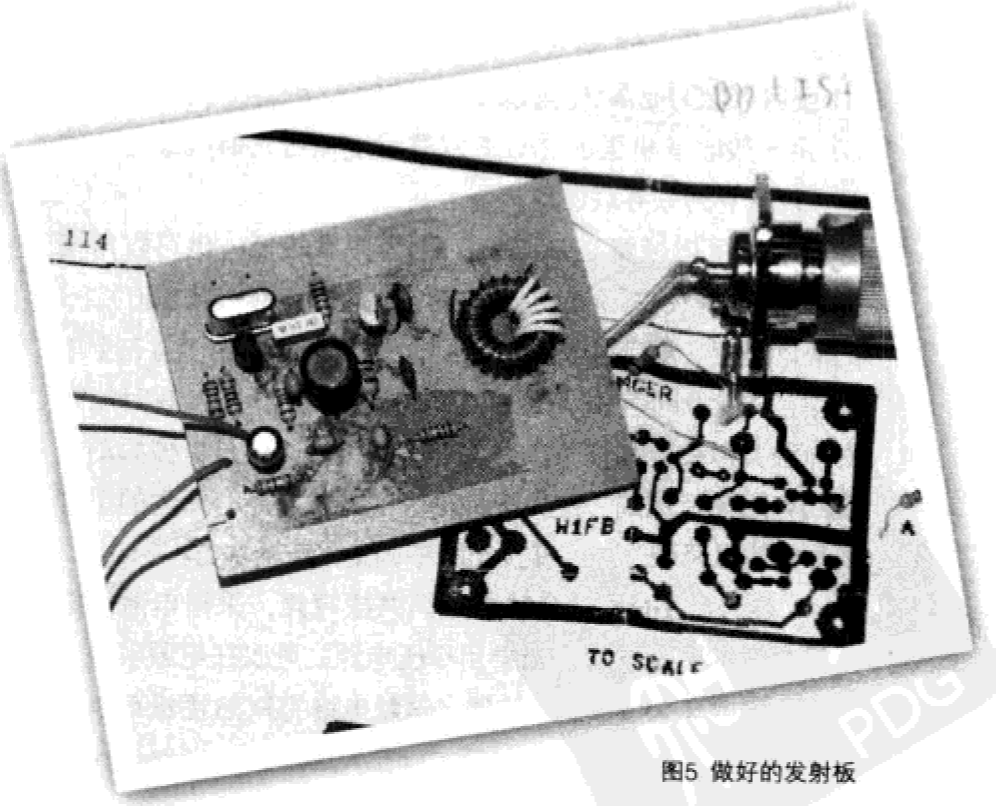


图5 做好的发射板

图8 做好的“小鼹鼠”与FT897的合影

省的潍坊市，离我这大概540km。按照国际上计算QRP通联成绩的方法，折合为10800km/W，还不错嘛！

后来我又用这个机器通联到了国内几个其他地方的电台，包括武汉、上海、济南等地。不过因为试验的时间和次数不多，这几次通联都是在传播一般的条件下完成的，没有遇到以前对方2W功率过来59+10dB信号那么好的传播情况，否则这个小机器应该能走得更远。我还有个打算，就是直接把这个小机器装在楼顶天线的根部，把键控和音频输出引到楼下的操作室里，这样就能彻底消除馈线带来的损耗，把本来就少得可怜的功率全部通过天线送出去，这个方法也能有效地提高通联成绩。

12000km/W的通联成绩听上去似乎已经不错了，不过离QRP的极限还差得甚远。2005年1月，W4ZV在80m波段上成功正确抄收了位于875km以外的N2XE信标发出的0.0406mW（CW模式）信号，折合20 000 000km/W以上，听上去是不是太神奇了。W4ZV当时使用了300m长的贝弗瑞接收天线。

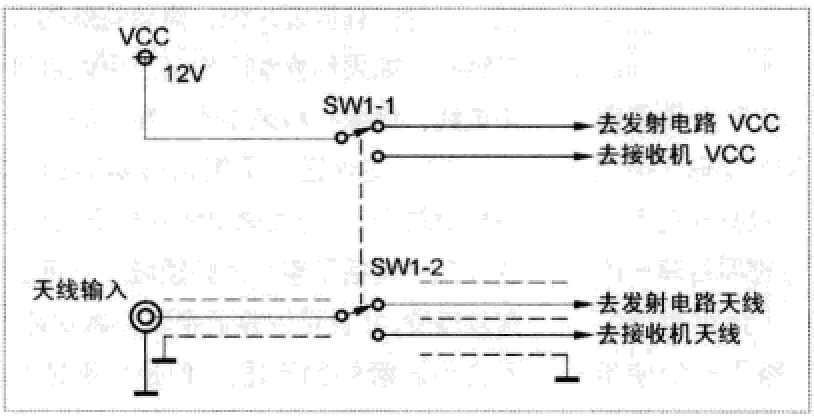


图6 收发切换电路

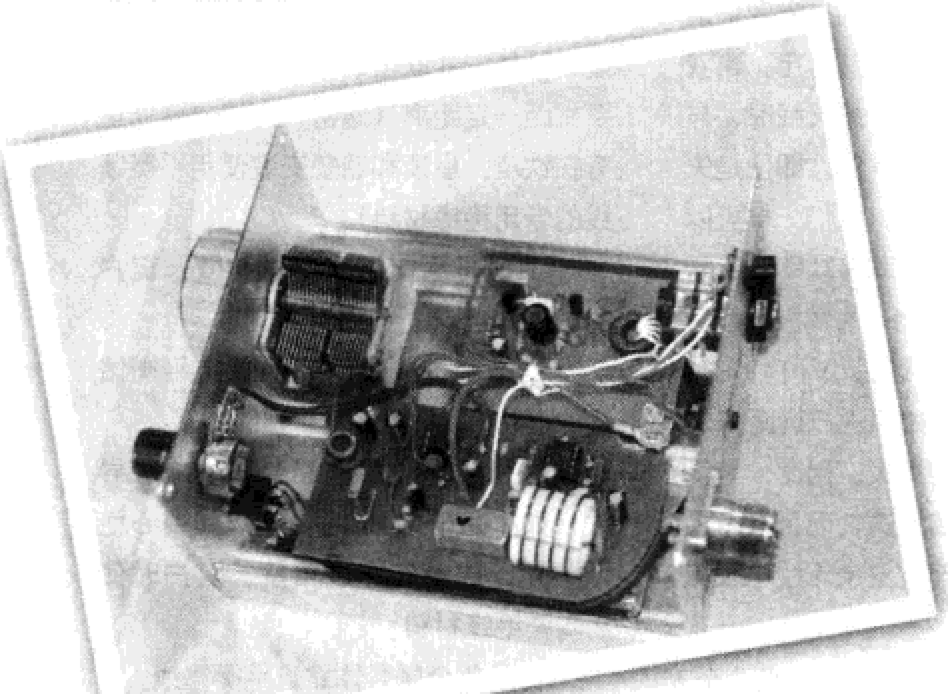


图7 组装好的整机内部

目前，在7023kHz国内CW乐园中活跃着很多自制的QRP设备，很多制作者都给自己的小机器起了一个昵称，有趣的是，这些昵称很多都使用动物的名称来命名，比如“蛙鸣”、“啄木鸟”、“夜鹰”、“黑豹”等，可能这只是一种巧合。不过笔者也给自己亲手制作的这台小设备起了一个名字——鼹鼠。可能是因为厚实的机箱加上以前看的动画片得来的灵感，在使用CW通联时，我报设备时会发送给对方以下内容：“MY RIG IS KRTEK”，KRTEK是捷克语“鼹鼠”的意思。自从有了鼹鼠之后，每天晚上回到家的第一件事就是打开它的电源，守听在7023kHz，一节12V/4Ah的小蓄电池可以用好几个星期。做好的小鼹鼠和FT-897D电台的合影见图8。

后记

我至今还清楚地记得自己第一次抄收CW信号时的情景，那时候我还不是一名火腿。某个冬天的下午我用一台老式的139收信机在频率上扫描时，突然收到一个清晰的电报信号，那种“嘀嘀嗒嗒”的节奏很让我着迷。那时候我还不懂莫尔斯电码，但我突然有了一种想知道它在说什么的冲动，我迅速找来纸和笔，把听到的嘀嘀嗒嗒的声音按照长短间隔记录了下来，核对无误以后我找来了《业余无线电通信》那本书，对照上面的莫尔斯电码表开始翻译，原来是一个HL5前缀的韩国电台在呼叫CQ，哈！当时的喜悦心情真是无以言表。从此，我就下定决心开始学习CW技术。几年之后的今天，我已经可以熟练地使用CW和别的业余电台进行通联了。每到晚上，那种缓缓出现在自制设备中微弱的信号让我着迷不已，也许这就是业余无线电的魅力，这就是微弱与简洁之美。

天线基础讲座

◎ James W.Healy（NJ2L）著 ◎ 刘燕北（BD2BH）译

偶极天线的馈送

如何将收发信机的射频电流馈送至偶极天线，如何尽可能高地提高天线的辐射效率，这是笔者在本文中要向读者解答的问题。

无线电通信的基础依赖于电磁波如何传导至你的天线系统，同时我们还希望天线的辐射效率能达到最高。这看起来可能比较简单，但是真正能做到却是一种挑战。本文中，我将介绍射频电流是如何在电台和天线间流动的。这里面包括两个常用的问题：选择正确的馈电电缆和如何让馈线不辐射电磁波。

馈线

两种基本型号的发射馈线经常用于偶极天线系统。一种是同轴电缆，这对大家来说比较熟悉。它们常用于电视机、录像机的相互连接，以及有线电视系统。一种是平衡馈线。

同轴电缆在业余无线电领域的应用也十分常见，其中包括RG-8、RG-58等相同类型的馈线（两者与有线电视用电缆有一定的不同），并可应用于谐振偶极天线系统。这类馈线具有和天线、发射机相同的匹配阻抗，且不是很昂贵。如果你使用同轴电缆为偶极天线馈送（或者连接电台），可分几个步骤进行。

用同轴电缆进行馈电有一个缺点，当我们给不谐振的天线馈电时，大多数的同轴电缆都有一定的损耗（《天线手册》中都有详细介绍）。使用天调，你可以使电台的阻抗与室内一端的同轴电缆相匹配，即使馈送一个根本不谐振的天线也是如此，但良好的匹配并不意味着天线系统的高效率。其中一点，在发信机一端，高损耗馈线引起的SWR变化比较低，而天线馈电点相对高些。因此，如果使用简单的偶极天线在多波段工作的话，同轴电缆并不是最好的选择。

偶极天线为平衡天线系统。因此，最好用平衡馈线与之相连。在平衡馈线导体中，电流大小相等，相位相反（呈180°），使馈线能输送射频功率而不辐射能量。如果不能满足这些条件，那么馈线将产生辐射，引起RFI（射频干扰）和其他相关问题。值得庆幸的是，我们可以按照下列方式避免馈线产生辐射。

平衡馈线系统

在业余爱好者中，空气介质平衡馈线的使用比较常见，例如梯形平衡馈线、并联双导线等。我比较喜欢空气介质的平衡馈线（即使导线需要每隔一段距离用绝缘子做支撑）。用平衡馈线馈送偶极天线，可以省略巴伦的使用（如果系统输入也是平衡的话）。平衡馈线还有其他的特点，特别是当我们馈送不谐振的偶极天线时尤其有用。当我们用来馈送高阻抗、不谐振天线时，与同轴电缆相比损耗会非常低。即便是失谐很严重的天线和馈线，我们一样可以让其工作得很好。如用同等功率以平衡馈线馈送，让一个14MHz的偶极天线工作在21MHz，其损耗远远小于RG-8、RG-58等同轴电缆。如果进行远距离发射、通联，其差异会更大。因此，平衡馈线不仅适合远距离馈送，而且具有损耗更低的优势，因而在业余无线电领域应用较广。

电视机用的平衡馈线只是一种可供业余无线电爱好者选用的兼容性平衡馈线，当这种馈线淋湿的时候，其损耗可能比同轴电缆还要大。

平衡馈线的特征之一是，其阻抗要比同轴电缆高，如梯形馈线阻抗为400～450Ω，使用平衡双导线的阻抗为300Ω。如果用这类馈线匹配偶极天线的话，需要使用天调，因为现在收发信机多使用了50Ω不平衡输出模式。当我们计划将一个偶极天线工作在多个波段时，必须使用天调，因为偶极天线的阻抗仅能适用一两个HF业余波段。

平衡馈线通常较同轴电缆价格更低，而对同轴电缆来说，需要特殊的导电结构。如果你喜欢，你甚至可以自己用电线、绝缘材料来制作平衡馈线。

在一些地区，平衡馈线实际运用得相对较少。因为同轴电缆的广泛应用，使其几乎囊括了整个射频领域，它可以穿越墙壁，并且可以靠近金属物体安装，不会引起额外的问题。但是平衡馈线在RF领域也具有自己的一席之地，需要注意的是，使用平衡馈线一定要远离金属物体，并联馈送两根天线时，馈线要相距一定距离（通常，无线电商店里有在铁塔、屋顶和墙壁安装使用平衡馈线的专用绝缘材料）。

下面是平衡馈线穿越墙壁、窗户的一些方法。

☆当穿越物体时尽量保持平衡馈线的形状。

☆使用高质量、高耐压的绝缘导线（如RG-8的中心绝缘导线和中心绝缘子），或者在穿过墙壁、窗户时使用陶瓷绝缘材料。

☆避免金属导体靠近平衡馈线。

☆密封穿越墙壁和窗户留下的空洞，减少天气的影响，避免牲畜靠近。

自制的天线能辐射出去吗?

天线工作的效率取决于传输的能量能否在天线端最大地转化出去。如果馈线辐射电波或者信号损失，那么天线就不可能获得最大的辐射功率。阻止馈线辐射能量，让天线尽可能地完成自己的工作，是一项巨大的挑战，并不像我们想象的那样简单。但实际上，有时也不一定。

如果我们已经选用了同轴电缆给偶极天线馈电，这就可能给馈线产生额外辐射创造机会，对室内的电器带来射频干扰问题。多数情况下，只要用一个简单的巴伦就能解决上述问题。

巴伦是一种将不平衡电流（同轴电缆馈电）转化为平衡电流（偶极天线）的装置系统。巴伦提供天线、馈线所需的相互转换，同时可防止馈线辐射能量。W2DU曾简洁地归纳了巴伦的功效：巴伦的基本作用是在不平衡-平衡间提供一个合适的路径。在这种情况下，巴伦迫使RF电流沿着馈线流向天线，避免射频电流在馈线上产生辐射或者回流。

3种可以自制的巴伦

常见的50Ω同轴电缆（如RG-8、RG-213、RG-58和小型RG-8）等，其阻抗都比较接近谐振偶极天线，容易匹配。但是你选用的巴伦不一定都能适合所有的天线系统，这也催生了不同阻抗平衡-不平衡巴伦的制作。3种高效率、简单的巴伦如今应用十分广泛。例如陷波器型巴伦，由于其在一定频率的高阻抗作用，有效地遏制了射频电流回流。以下的每种制作形式都基于同轴电缆。

1. 一种简单、高效的巴伦，可以是

用同轴电缆连接偶极天线，有一个缺点是大多数同轴电缆在天线不谐振时的相对损耗过大。

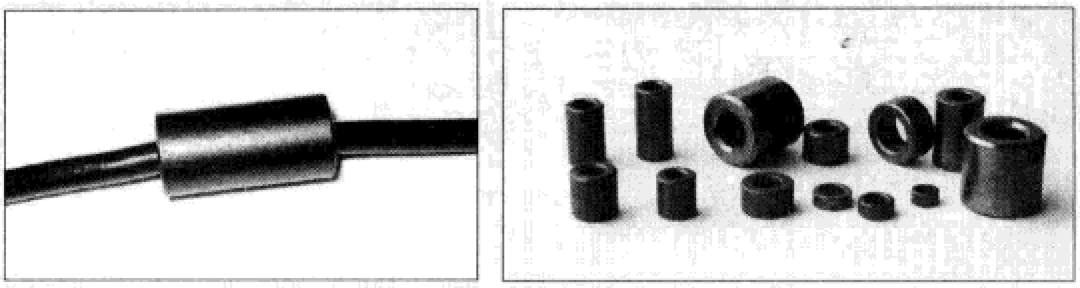


图1 磁珠巴伦。可用几个磁环串联在一起，套在RG-8馈线上。磁环易碎，最好用胶带捆扎在一起。

用多个磁环套在一节馈线上制作而成。

图1中的磁芯不会影响同轴电缆内部导体和电缆屏蔽网内侧面的电流流动。但是可以阻止屏蔽网外侧电流的回流。由于磁珠型巴伦的磁环，其内径刚刚足以通过RG-8/RG-213电缆，可以任意滑动，因此，为了提高天线的效率，巴伦距离天线馈电点越近越好。

一旦将磁芯在电缆上安放完毕，一定要用胶带等捆住，以防磁珠破损和向下滑落。

2. 陷波型同轴电缆巴伦（见图2）。要避免使用RG-8X和RG-8M一类的同轴电缆来制作巴伦。因为这种电缆在弯折得太厉害时，电缆的芯线和屏蔽网间有可能产生放电。所以坚固的RG-8、RG-213一类的电缆是首选。这种巴伦在体积上还是有些过大的，因此在室内并不适合，仅适用于户外使用（放置于电台和天调之间）。

3. 同轴电缆制作的无形巴伦。这种高效的巴伦的结构只是一个电缆绕成的线圈（见图3）。

上述3类巴伦中，同轴电缆陷波型巴伦和磁珠型巴伦的应用更广泛一些。无论何种情形都能满足我们的需要。同样，我们也应当知道，3种形式的巴伦虽然都能阻碍射频电流沿馈线外导体回流，但放在馈电点处的效率远远高于将其放在室内。如果巴伦放在天线根部不方便，也可以将其搁置在馈线的其他地方，只要保证效率较高、安装方便即可。陷波型同轴电缆巴伦非常适用于偶极天线，也比较适合低阻抗、同轴电缆馈电类天线，如

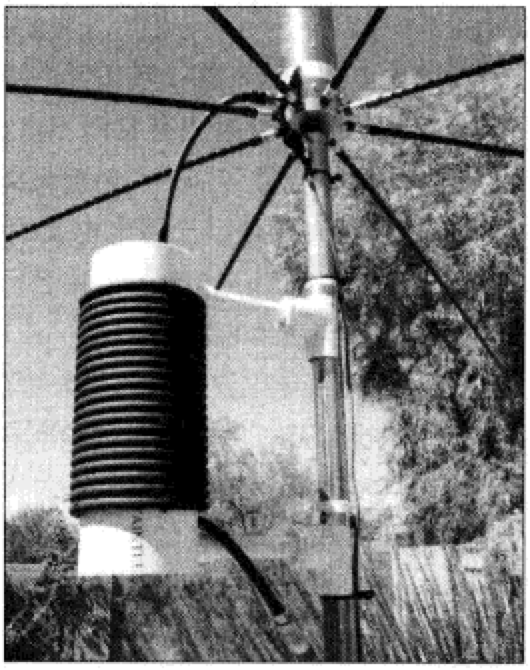


图2 用RG-58同轴电缆，在ABS塑料管上绕制的陷波型巴伦。陷波型巴伦可以有效阻止射频电流沿同轴电缆外导体回流，但是不能阻止其电流在内导体中的流动。

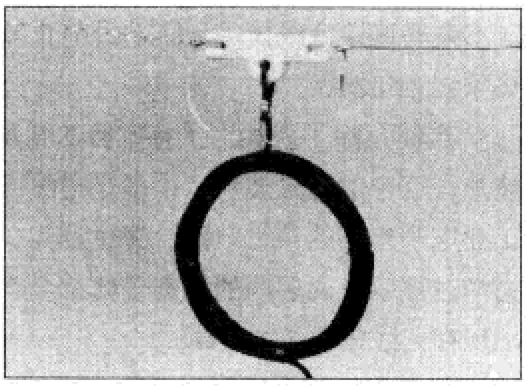


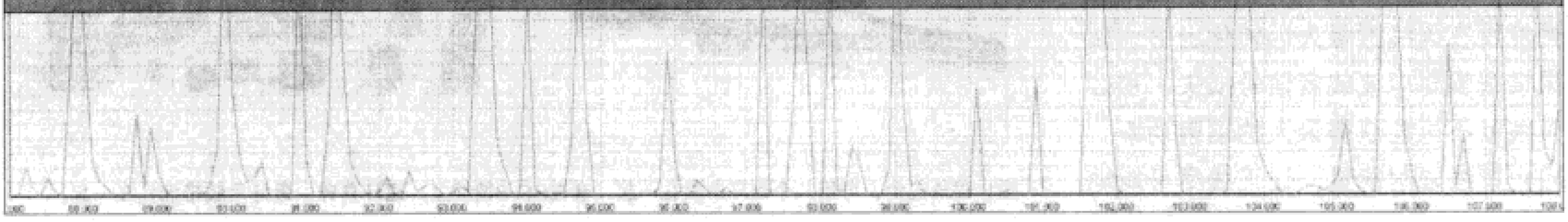
图3 用同轴电缆绕制的空芯陷波型巴伦。这种巴伦效率高、重量轻，偶极天线就可以承受巴伦的重量。

八木、方框和垂直天线等。

无论你用何种方式给偶极天线馈电，重要的是，偶极天线本身只是天线系统的一部分。整个系统组成还包括馈线、绝缘子、导线、天线插头座等。如果我们忽略系统的某个部分，与其他电台的沟通就会出现问题。你也许会听到爱好者们的谈论——电台的效率取决于天馈系统的高效率。

探索我们身边的频率（上）

◎杨法（BD4AAF）



无线电电波无处不在，我们身边的广播、电视、移动通信都与无线电电波有着密不可分的联系，导航、雷达、非接触ID卡、微波加热、射电天文学、遥感遥测也都与无线电电波相存相依。无线电电波的一个重要属性就是频率，不同频率的无线电电波在空中各行其道，互不干扰，保证了各项无线电应用的顺利开展。

空中的无线电电波有的是人类为了特定的目的“生产”的。比如，无线电发射机的发射频率是由机器内部的振荡器产生的，再经过多级放大，最后通过天线向空中发射。人们通过改变振荡电路的一些关键元器件参数，就能产生一定频率的振荡信号，并可以通过公式计算出振荡频率，或者通过频率计来测量出振荡频率。当振荡信号频率比较高时还会用到倍频电路。振荡器电路也经历了一段发展历程，从早期的LC振荡器到后来的石英晶体振荡器，并在石英振荡器的基础上通过电路实现PLL锁相环频率合成器和目前主流应用的DDS频率直接合成技术。DDS目前正向着小型化、集成化、高频化方向发展。

当然，除了人类为了特定目的利用电子设备发射的电磁波外，空中的电磁波还有很多是自然因素产生的，也有的是工业电子产品的杂波散射。经过证实，自然界地壳内地球动力学过程以及磁层内的等离子体都会产生电磁波，他们主要出现在无线电频谱的低端。

很多天体都会辐射电磁波，这也就是我们常听到的射电天文望远镜的理论基础。射电望远镜并不采用光学望远镜的光学玻璃透镜，而主要由天线、接收机、终端处理显示设备组成，用来测量天体射电的强度、频谱、偏振等。

此外，无线电发射机在发射电磁波时，在主载频外还会有高次频率的谐波一起伴随发射，这种无意义的谐波发射会污染无线电频谱。在电子产品中，原则上所有的振荡电路都能对外辐射电磁波。尽管有很多振荡电路在设计时本意并不是用来发射电磁波的，但这类泄漏的电磁波无意中可能会对其他电子设备的正常工作造成影响，或者直接干扰无线电通信。在一些无线电通信干扰查处中，常常最终发现，干扰源竟然是一些工业设备。

随着电子产品使用密度的增加，电子产品间的电磁干扰问题渐渐显现出来，所以现在的很多电子产品需要通过EMC电磁兼容测试，要求产品通过技术手段将EMI（电磁干扰）控制在规定的限值内，同时具备一定的EMS（电磁抗干扰）能力。我们生活中有些劣质的充电器和节能灯，工作起来会严重干扰收音机，这就是严重EMI的表现。

频率的定义

德国物理学家赫兹

频率这一物理量的科学定义是单位时间内完成振动的次数，是描述振动物体往复运动频繁程度的量。在电磁学领域，频率表示每秒重复波形的数量，使用赫兹（Hz）作为单位。1Hz表示每秒钟完成一次周期变化。在频率较高的时候，也用千赫兹（kHz）和兆赫兹（MHz）以及更高的吉赫兹（GHz）作为单位，以方便表述，1kHz=1000Hz，1MHz=1000kHz，1GHz=1000MHz。单位赫兹的命名是为了纪念德国物理学家海因里希·鲁道夫·赫兹的伟大贡献，他最早用实验证实了电磁波的存在。

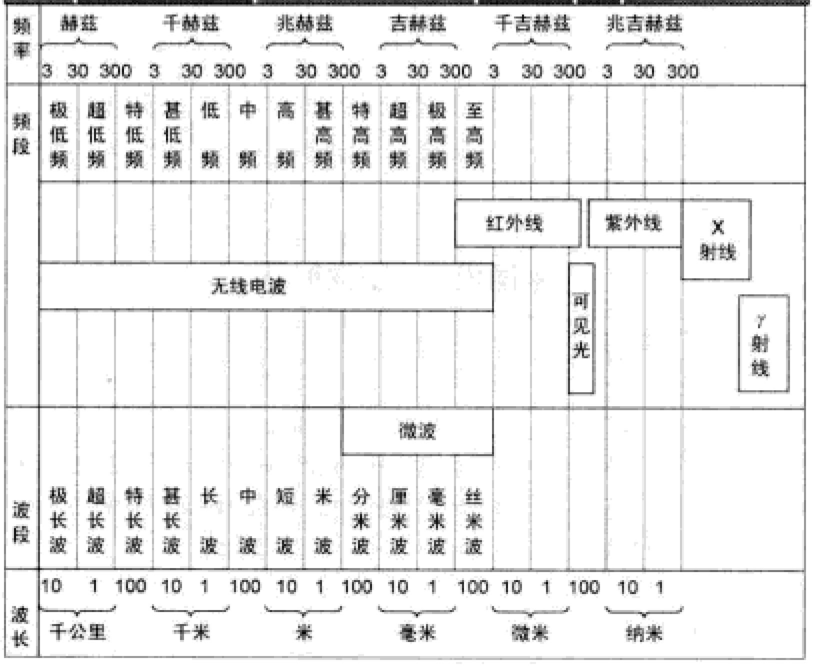
无线电电波除了可以用赫兹作为频率单位外，传统上还可以使用“波长”来描述，波长与频率的关系是波长λ=常数300/频率（MHz），单位是“米”（m）。由于现代科技对频率测量已经达到很高的精度，所以用“赫兹”作为单位，更有利于对无线电电波精确的表述，而波长多数被应用于表述某个频率段。

频率的划分与科学规划

不同频率段的无线电电波有着各自不同的特性，人们利用不同特性的无线电电波来完成各种信息的传递和其他应用。在无线电频谱上，根据各频率段的不同特性划分的各个

表 1

段号	频段名称	频段范围（含上限，不含下限）	波段名称		波长范围（含上限，不含下限）
1	极低频（ELF）	3~30 Hz	极长波		100~10Mm
2	超低频（SLF）	30~300 Hz	超长波		10~1 Mm
3	特低频（ULF）	300~3000 Hz	特长波		10000~1000km
4	甚低频（VLF）	3~30 kHz	甚长波		1000~10km
5	低频（LF）	30~300 kHz	长波		10~1km
6	中频（MF）	300~3000 kHz	中波		1~0.1km
7	高频（HF）	3~30 MHz	短波		100~10m
8	甚高频（VHF）	30~300 MHz	超短波		10~1m
9	特高频（UHF）	300~3000 MHz	分米波	微波	100~10cm
10	超高频（SHF）	3~30 GHz	厘米波		10~1cm
11	极高频（EHF）	30~300 GHz	毫米波		10~1mm
12	至高频	300~3000 GHz	丝米波		1~0.1mm



频段如表1所示。国外对常用的1GHz以上的频率有另外的划分，用字母来表示，如表2所示。我们常听到的卫星电视使用的C波段、Ku波段和雷达X波段、S波段都是采用这种频段划分方式来表示的。这种划分方式最早是在二次世界大战中使用的，主要是为了保密雷达而使用的波段，因此用字母代码来表示。战后，这种用字母代码划分微波波段的做法被沿用并完善，至今在很多领域依然应用。

无线电频谱资源属于国家资源，同时也是有限的，必须由国家统一、科学地规划分配，才能确保各个频率被科学高效地利用。有些无线电频率资源是跨国界的，必须全世界一起来科学地规划使用。

在无线电通信发明之初，人们对频率的特性认识有限，对频率的规划使用也没有概念。早期的无线电通信机，限于当时的科学技术水平，主要工作在长波和中波波段，当时频率的划分主要是为了能达成发信机与接收机的匹配，以建立有效的通信，频率的占用基本是后用让先用，处于无序的“圈地占位”性质。

早期的无线电通信主要用于船舶航海和军方，随着军用和民用电台应用数量的增加和频率需求的剧增，由于使用相同频率导致相互干扰的矛盾越来越突出，合理划分频率变得越来越重要。电波具有非国界性，所有在干扰事件中会出现互相干扰的双方分处于不同的国家，没有共同的管理机构就无法处理频率干扰问题。因此，在1906年，当时的国际电报联盟成员国英、美、德、法等27个国家在柏林签订了《国际无线电报公约》，首先保障了国际无线电电报通信业务。也就是在这一时期，确立了全球人所皆知的SOS（三短三长三短）遇险求救莫尔斯电码信号（当时主要是用于船只遇险呼救）。随着电报通信应用的日益深入，越来越多的国家都参加了当时的国际电报联盟，电报也由早期的有线电报全面转向无线电电报。在1932年，70多个国家的代表在西班牙马德里召开会议，将《国际电报公约》与《国际无线电报公约》合并，制定了《国际电信公约》，并决定自1934年起正式将国际电报联盟改称为“国际电信联盟”（International Telecommunication Union，简称ITU）。在1947年，国际电信联盟成为联合国的一个专门机构，其总部也迁至联合国所在地。目前ITU下设无线电通信部门（RS，或称ITU-R），主要研究无线通信技术和操作，并出版建议书，还行使世界无线电行政大会（WARC）、CCIR和频率登记委员会的职能，协调各成员国之间频率的使用，并提出频率使用总体规划框架，各成员国依据此框架，结合本国实际情况来规划具体频率配置。也正是有了ITU的频率总体规划，才使全球短波广播和移动电话全球漫游成为可能。

频率探秘

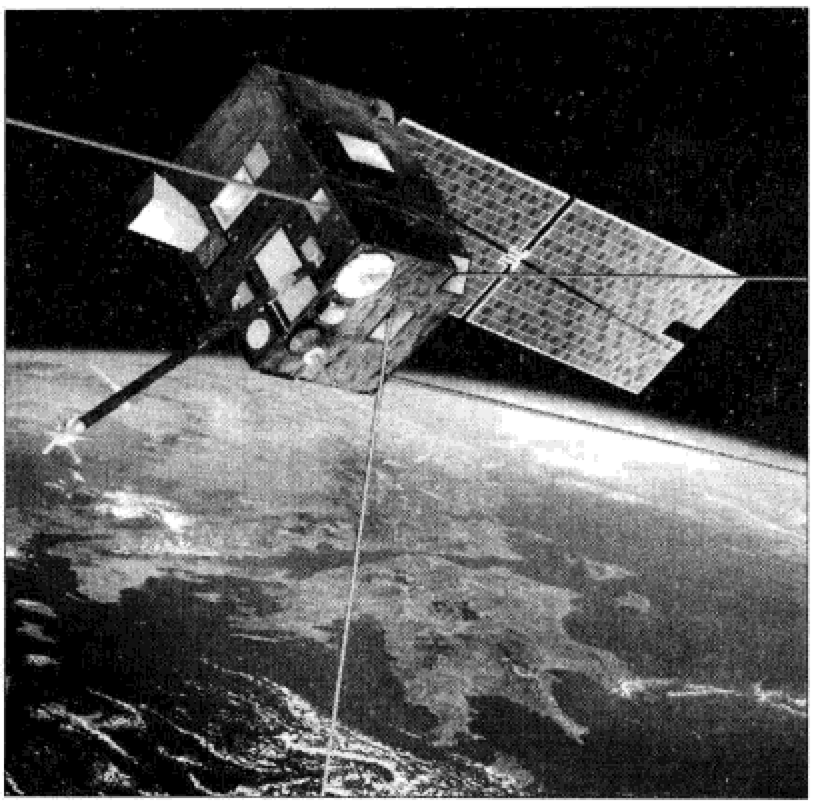
1. 极低频(ELF)与超低频(SLF)

极低频ELF频率范围为3~30Hz，对应波长100~10Mm，称为极长波。超低频ELF频率范围为30~300Hz，对应波长10~1 Mm，称为超长波。这是两个频率非常低的频段，位于无线电频谱的最低端。

由于使用该频段需要巨大的发射机和超长的发射天线（即使是缩短型的天线通常也要几十千米到几百千米长），场地规模和资金预算都非常巨大，所以人们一般不轻易使用这两个波段。但极低频与超低频有一个其他波段都无法比拟

表2

L波段	S波段	C波段	X波段	Ku波段	K波段	Ka波段
1~2GHz	2~4GHz	4~8GHz	8~12GHz	12~18GHz	18~26.5GHz	26.5~40GHz


法国Demeter卫星

的优点，就是对海水和地层的穿透性特强，在海水中传输衰减小，同时传播距离长，不易受到干扰。因此，人们不惜工本地使用它。

常用的无线电波段可以沿地表或者水面以及在空气中传播到很远的地方，但在垂直向下方向上，穿透地表和水面能力却非常有限，尤其在海水中衰减极大。国际上，潜航船只主要活动在大海中，其通信一直是各国海军关心的问题，传统的无线电频段对海水的穿透能力很差，所以潜航船只必须接近水面才能建立通信，这直接影响了潜航船只行动的隐秘性。国外有试验证明，利用超低频的超强穿透性和远距离传播特性，可以与下潜深度超过100m并远离基地6000km以上的潜航船只建立通信。而使用极低频，则可穿透海水到达离水面250m甚至更深的深海。从20世纪60年代起，美国和前苏联的军方都开始进行这方面的探索和试验，试验证明，极低频与超低频通信是目前甚低频通信系统的有效补充。

此外，由于极低频和超低频对地层也有很强的穿透能力，通过改变频率可以精确测定从地表到10多千米不同深度的地层电阻率，从而可以探测地质构造和地下资源。利用极低频来预测地震和监测地震也是国际上的先进技术。

2. 甚低频（VLF）

甚低频（VLF）频率范围为3～30kHz，对应波长100～10km，称为甚长波，位于无线电频谱的低端。

甚低频主要用于超远程的无线电通信和导航。甚低频是目前各大国对水下潜航船只通信的主力频段，虽然使用甚低频频段对海水的穿透力没有上面提到的极低频与超低频那么强，但也可以穿透海水15～30m。同时，甚低频发射台站的技术也相对成熟，现有的技术通过甚低频发送的信息速率要远大于使用极低频与超低频波段。

甚低频也是世界上一些导航系统使用的频段，如著名的奥米加导航系统（10～14kHz内固定频点）和俄罗斯Alpha甚低频导航系统。

此外，有研究表明，通过监测甚低频的传播特性（如相位），可以进行短期地震预测、监测火山活动等。监测甚低频和电离层的微妙变化，可以通过陆地接收站，也可以通过地球上空的卫星。法国的Demeter卫星就是一颗研究与地震火山活动相关的电离层变化的地震电磁卫星，由于研究成效显著在业界颇受关注。

作为信号源，由于建立甚低频发射站面临投资高、工程大、周期长的问题，所以大部分科学研究都充分利用现有其他用途的VLF发射站的现成信号。在我国周边就有不少可利用的信号，如下所示。

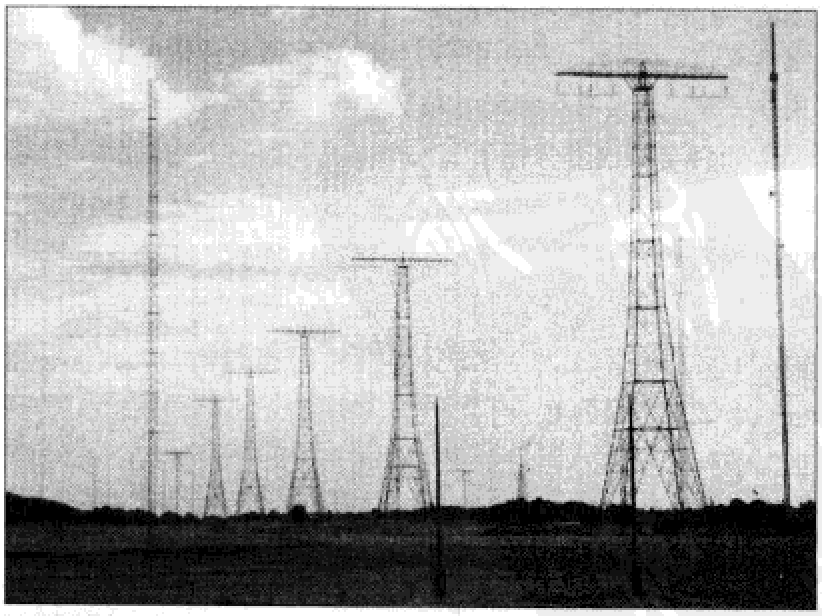
中国周边VLF发射站

国家	发射站	频率		
日本	JP	17.8kHz		
印度	VTX	18.2 kHz		
俄罗斯	RA1	11.904761 kHz	12.648809 kHz	14.880952 kHz
俄罗斯	RA3	11.904761 kHz	12.648809 kHz	14.880952 kHz
澳大利亚	NWC	19.8 kHz		

3. 低频(LF)

低频LF频率范围为30～300kHz，对应波长10～1km，称为长波，位于无线电频谱的低端，也是人们最早利用的电波频段。

随着科技的发展、使用频段的拓宽，很多应用都开始使用更高频率的波段。长波具有传输稳定的特点，长波除了可


VLF发射站天线

以依靠地波传输近千千米外，还可以绕地球表面以电离层波的形式传播达数千千米，尤其是大功率的长波信号，其传输距离可以非常远。长波频段多用于AM广播、低频时码发播、对潜通信、导航。

国外有长波广播电台，我国虽然没有这个广播频段，但在部分地区依然可以接收到俄罗斯和蒙古的长波广播，这也体现了电波无国界的特性。我国BPC商丘低频时码发播台就工作在长波波段，使用68.5kHz频率。

“低频时码”的名称对很多人来说是新名词，但说起电波钟表很多人会比较熟悉。一些进口的电子钟和国内很有名的不少卡西欧电子表都具备自动电波校时功能。

电波校时就是接收标准时码信号授时源（长波时码信号发射台）发射的低频时码授时信号，对计时装置进行自动校时，不需要人为校准，时间的精度极高，且与国家授时中心的标准时间同步，从而达到计时装置时间显示的精确性与统一性。电波校时配合石英计时技术，使用户无需使用价格高昂的专业原子钟就能低成本地获得相当精确的时间。传统石英计时器的误差不会被累计，会被定期校准，消除误差。而且如果用户使用自动接收校准功能还可以免除每天对时的麻烦，随时都能提供准确的时间。低频时码授时技术是国际电信联盟(ITU-R)推荐的授时技术。我国目前已成为世界上继英、美、德、日后第5个拥有此项技术和产品的国家。

此外，世界各地区提供的电波校时频率都是不一样的，所以必须有对应制式的接收设备，很多国外进口的电波表都

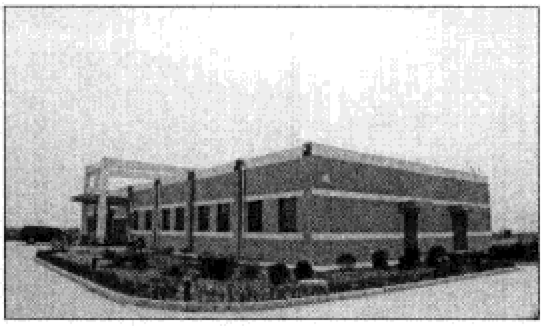
电波表

不支持中国BPC台的制式，可以兼容日本的信号，所以只能在部分沿海地区使用。一般支持中国BPC制式的电波表/钟的产品在国内销售时会特别注明。

著名的长波导航罗兰C系统就工作在100kHz频率上，即便是目前GPS技术廉价普及的时代，罗兰C依然是专业应用上GPS有力的备份导航方式。长波对海水也有一定的穿透能力，加上其长距离传播特性，所以长波台也曾是对水下船只通信的手段，不过随着甚低频技术应用的成熟，各国军方更多地采用甚长波台。此外，时下流行的非接触式射频识别RFID技术部分使用125kHz频率，也属于长波波段。

TIPS1

中国科学院国家授时中心BPC商丘低频时码发播台



台址：河南商丘

（天线坐标：北纬34.457°，东经115.837°）

频率：国家无委批准的68.5kHz，发射带宽±1kHz

发射机：全固态

发射天线：伞状单塔

发射功率：100kW

覆盖半径：天波3000km，地波1000km

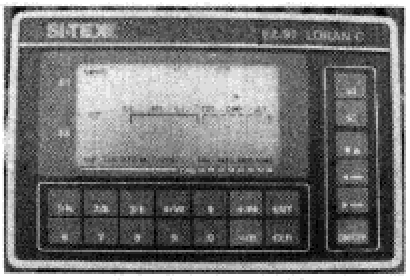
调制方式：由编码调制单元提供已调波的脉冲负极性键控

发播时间：连续24小时

授时精度：±0.1ms

TIPS2

罗兰C导航系统



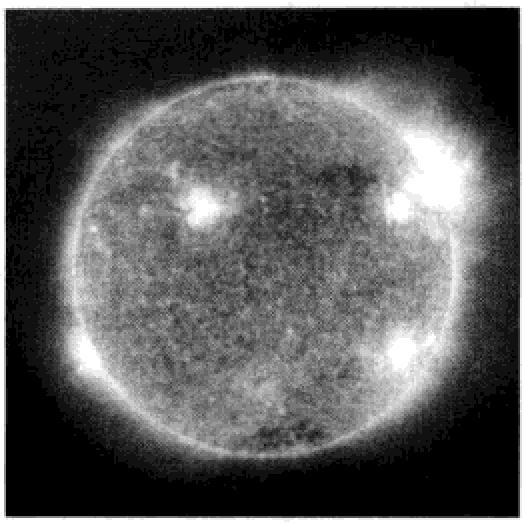
罗兰（LORAN）的全称是远程导航，也被称为低频脉相双曲线导航系统，是一种利用双曲线定位原理的导航系统，工作频率为100kHz，与早期的无线电测向系统相比,具有更远的作用距离，可达2000km，定位精度为几十米。罗兰系统一直以来是专业领域应用非常广泛的无线电导航系统，直到出现卫星导航系统。目前世界上有20多个台链、约70多个罗兰C发射台在工作。

罗兰C系统由设在地面的1个主台与2～3个副台合成的台链和飞机上的接收设备组成。测定主、副台发射的两个脉冲信号的时间差和两个脉冲信号中载频的相位差，即可获得飞机到主、副台的距离差。距离差保持不变的航迹是一条双曲线。再测定飞机对主台和另一副台的距离差，可得另一条双曲线。根据两条双曲线的交点可以定出飞机的位置。这一位置由显示装置以数据形式显示出来。

天线基础讲座

◎ 刘燕北（BD2BH）译

按照平均近11年1个太阳黑子活动周期的规律，2011年前后是太阳黑子活动的高峰。随着太阳黑子活跃程度周期性的加强，远距离通信迎来了开展的好时机。10m、15m、20m波段都是远距离通信的热门波段，本期为大家提供一款适合自制的偶极天线资料，它能很好地工作在上述波段，为你的远距离通信助一臂之力。



四波段偏馈偶极天线

——工作于40m、20m、15m和10m

你是否曾有过疑问，为什么偶极天线需要在中部馈电和匹配？中部馈电对于1/2波长的偶极天线来说是一个最佳的选择，因为当天线被修剪为谐振状态长度时，馈电点一般接近50Ω，这就为使用同轴电缆提供了可能。同时，这也能很好地与发射机进行阻抗匹配。但是我们是否可以通过移动距中心馈电点的位置来获得较好的匹配呢？

像许多业余无线电爱好者一样，我也经常互问同样的问题：大家在用什么样的天线？多数情况下，我得到的答案都是“经典的半波长偶极天线”。偶尔，欧洲的一些爱好者会告诉我，他们在用“FD3天线”。可能与我们设计的多少有些相似，于是我鼓起勇气四处寻找结果。

几经查询，我获得了单一导线天线——FD3的信息：天线馈电点不在中心位置，而是距离天线一端1/3的地方。天线在馈电点用6:1巴伦通过同轴电缆馈电。其实就是早年十分流行的单导线馈电温顿天线。

学习研究了FD3天线，给了我一个启发，如图1所示。此偏中心馈电偶极天线可以工作在4个常用的业余波段：40m、20m、15m和10m。令人意外的是，天线不用天调！

几乎每种偶极天线都需中部馈电，对么？也不一定。这款偏馈偶极天线工作在4个波段，且不需要天调。

天线结构

可以想象，21m的12#铜导线，如果把它们切成相等的两段导线，用50Ω电缆馈电的话，你可能发现，天线基本上谐振在40m波段的低端（这个结果当然还要看天线距离地面的高度等）。

但超乎我们想象的是，此天线用21m的裸铜线，并不把它切为相等的两端，而是切割为一段7m长，另外一段14m长，两段天线中间再用一个绝缘子相连接。当提供40m信号源测试时，这种偏馈天线馈电点阻抗接近300Ω。

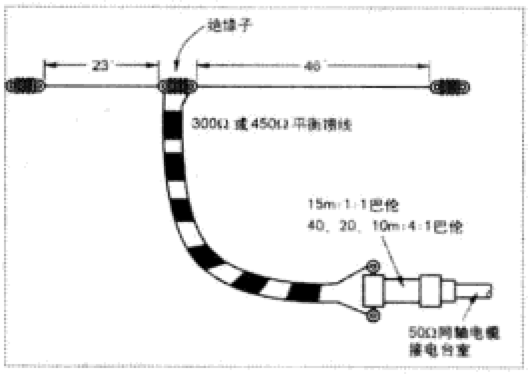
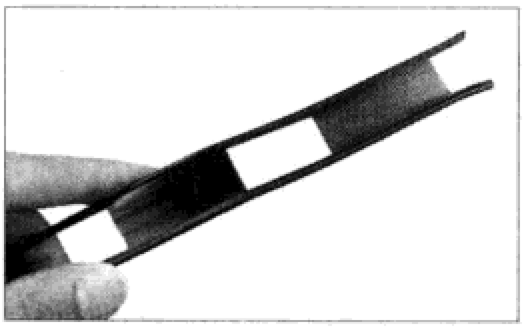
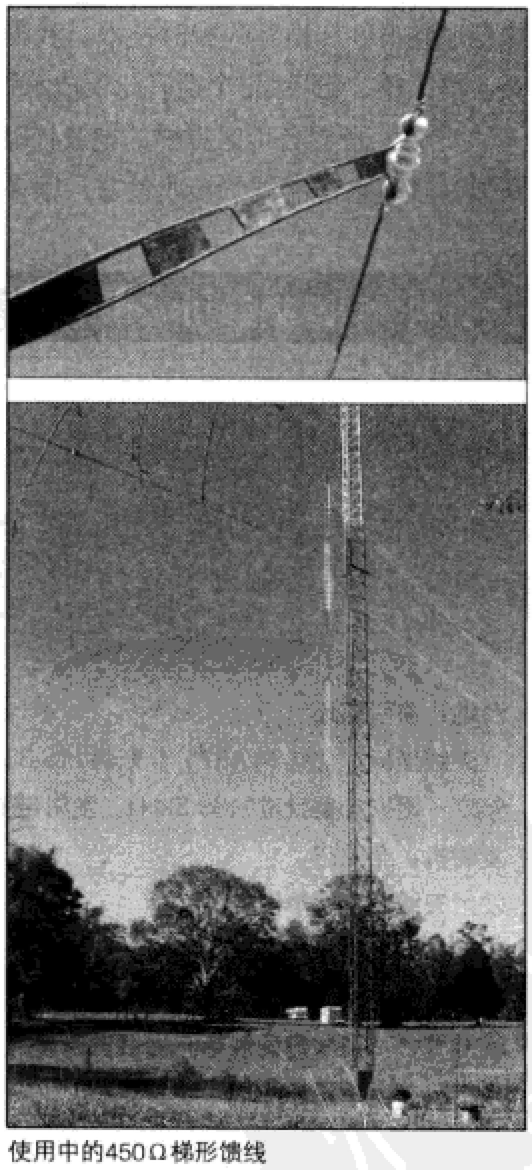


图1 该偏中心馈电偶极天线在没有天调的情况下可满意地工作在4个波段。我们需要做的只是将导线和平衡馈线切割为适当的长度。如果需要工作在15m波段，或许需要巴伦相配合。



300Ω梯形馈线



使用中的450Ω梯形馈线

同一个馈电，天线距地面12.2m左右时，天线在20m、10m也可以获得近300Ω的阻抗。

用梯形平衡馈线，300Ω或者450Ω，在馈电点都可以基本匹配。在1/3馈电点处，15m波段阻抗很高。但是我们用15m波段的1/4的梯形平衡馈线的话，天线馈电点的高阻抗会下降很多，几乎接近电台的输出阻抗。

21MHz的1/4波长300Ω梯形平衡馈线长度约为3m，但这个长度到达电台的距离还是短了些。当然我们可以根据情况增加长度，方法是:馈线的总长度必须是21MHz 的1/4波长整倍数。为使所有4个波段均有较好的SWR，建议用16.8m或者33.8m的450Ω平衡馈线（或15.2m或者30.4m的300Ω平衡馈线），其中总有一个长度可以穿越房间到达你电台。

现在，我们总算在馈电点获得了较低的阻抗，那么我们就可以方便地使用4:1或者1:1的巴伦，然后传入50Ω馈线工作了。使用4:1的巴伦天线可以工作在40m、20m和10m波段，使用1:1巴伦则工作在15m波段。我的电台4:1和1:1的巴伦都用，根据需要切换不同波段插头。

总结

到底偏馈天线工作如何呢？我在没有增加天调的情况下，一个一个波段进行了试验。我发现，当巴伦切换到15m波段时，并不是十分麻烦。通过选择正确的馈线长度，巴伦可以正确地与电台相匹配。至少，所有的波段SWR都在2:1之内。

此天线不仅容易操控，且给了我很多通联的机会。偏馈偶极天线，的确不错，你可随时检验其功效。

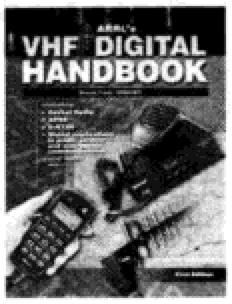
注：300Ω梯形馈线是专门制造的，如果没有，450Ω馈线也是不错的选择。

Tips

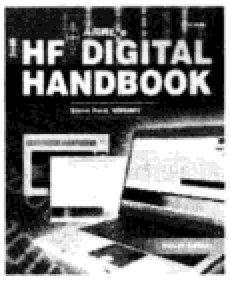
20m波段：14~14.350MHz

20m波段最适合远程通信，是远程通信爱好者的皇后。在白天的任何时候，在世界的任何角落，20m波段都是开放的。在太阳黑子活动（每11年一个周期）的高峰期间，这个波段夜间也开放，而在低峰期间，一般日落之后，这个波段就关闭。

在20m波段，你可以找到所有的通信模式。这个波段的上半部分几乎全部是SSB通信，你必须花费一些时间（尤其是周末），才能在14.225~14.350MHz之间找到一个无人使用的可用频点。这个波段的底部专门用于CW通信。远程通信爱好者经常在14~14.050MHz之间搜寻远方的信号。QRP（低功率）CW通信通常使用14.060MHz这个频点。此外，在14.065~14.120MHz之间，可以听到数字通信。



VHF数字通信手册



HF数字通信手册

15m波段：21~21.450MHz

在太阳黑子活动的高峰期间，15m波段非常适合进行远程通信，而在低峰期间，这个波段只能勉强进行远程通信，不过偶尔也有传播突然变好的情况。

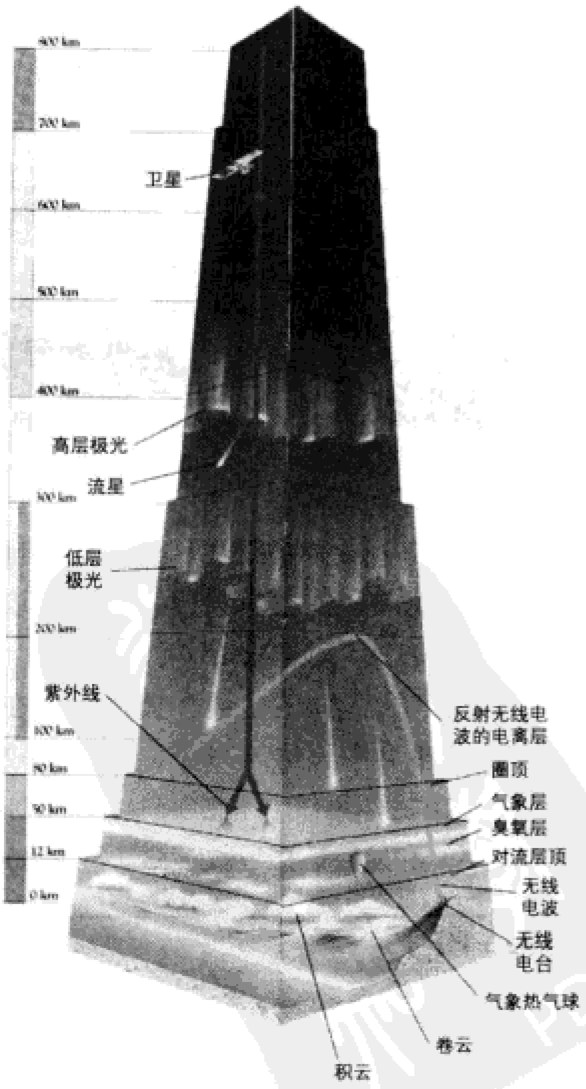
与17m波段一样，15m波段也是白天开放的波段。在太阳黑子活动的高峰期间，这个波段从上午开放，一直延续到天黑之后的几个小时。在这个波段上，你可以找到SSB和CW通信，不过大部分是SSB通信。此外，数字通信在这个波段上也相当活跃。

10m波段：29~29.700MHz

在太阳黑子活动的高峰期间，10m波段是最热门的远程通信波段之一。进入高峰期间之后，电离层对10m电波的吸收明显减弱，反射明显增强。电离层会将10m电波反射到几千千米之外的地方。在这个期间，甚至连QRP（低功率）电台都可以轻松地进行远程通信。

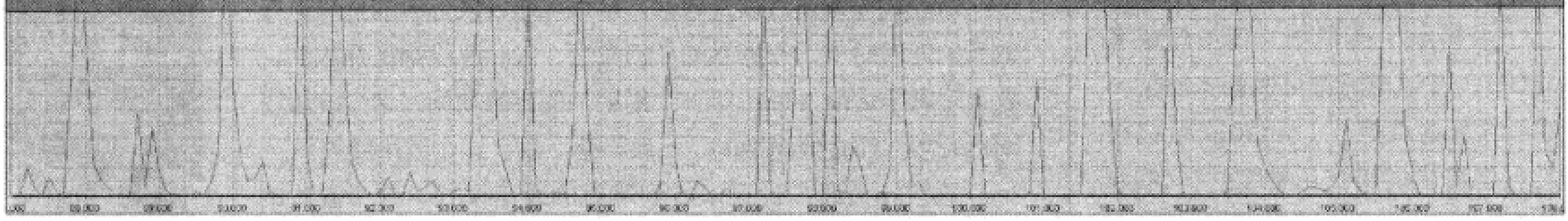
进入低峰期间之后，10m波段的通信明显减少。事实上，许多火腿都认为在低峰期间，这个波段不值得再使用。这是一个夸张的看法。在低峰期间，你可能无法进行全球范围的远程通信，但进行几百千米的短程通信还是没有问题的。

——摘自《业余无线电入门》



探索我们身边的频率（下）

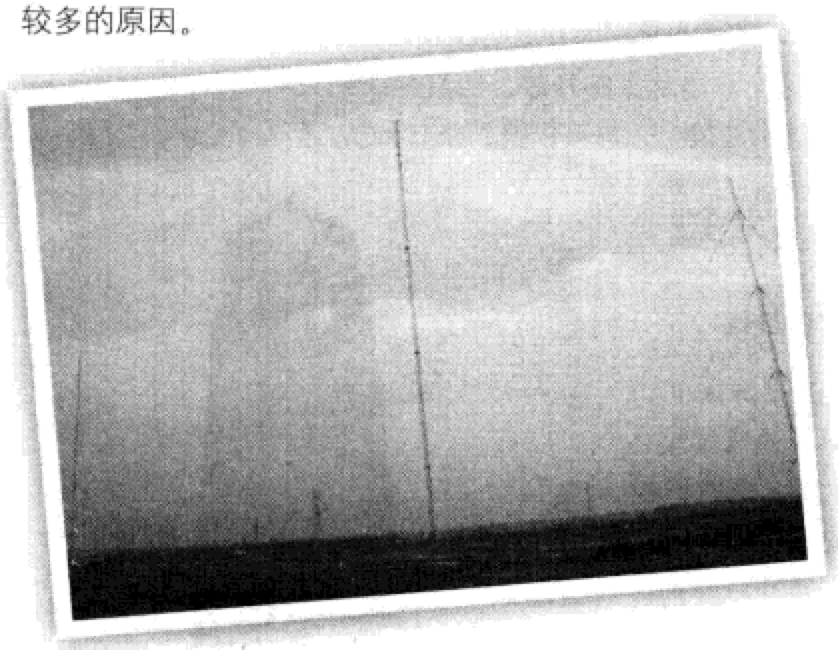
◎杨法（BD4AAF）



上期，笔者为大家介绍了低频频段的特性，本期，我们再来了解一下中频与高频频段。

中频（MF）

中频MF频率范围为300˚～3000kHz，对应波长1000m～100m，称为中波，位于无线电频谱的较低端，中波主要以地波形式传播，通常可靠通信距离在二三百千米。在夜间，中波可以通过天波途径传播，能传到较远的地方，这也就是我们的收音机晚上收听到的中波广播电台较多的原因。



中波广播天线

由于中波的特性，所以在无线电广播中中波波段被选为本地广播的理想频段，我国中波广播频率范围为525～1605kHz，间隔9kHz。

除了广为人知的中波广播频段，在高于广播频段的地方还有多套中波导航系统，其中比较有名的民用系统有早期的罗兰A系统（1750kHz、1850kHz、1900kHz、1950kHz）和航空近程导航NDB（归航台）。

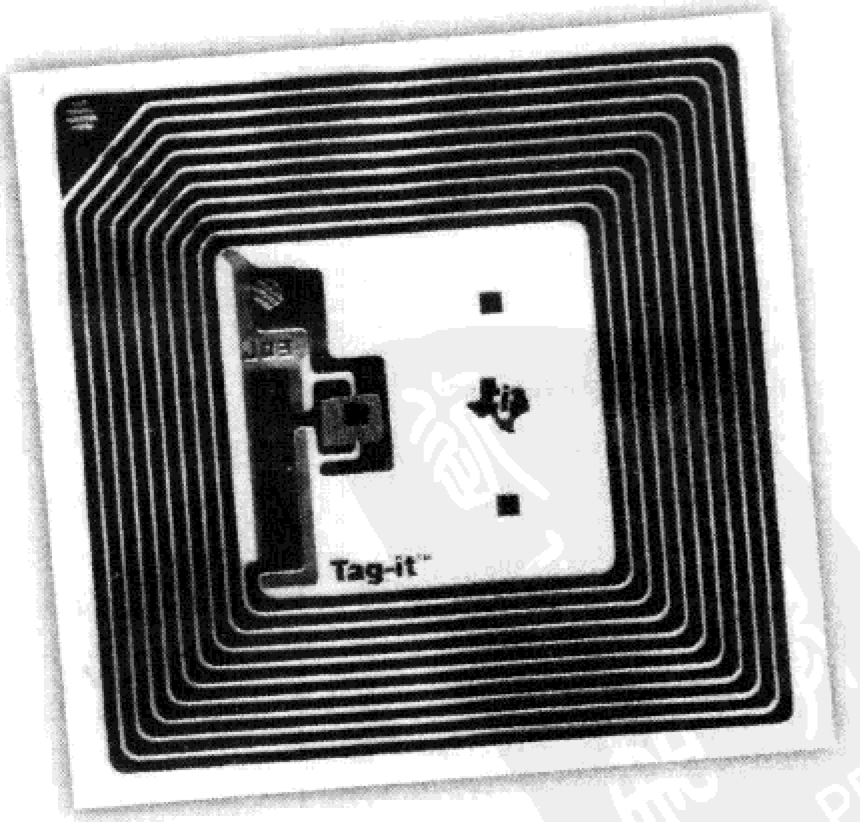
高频（HF）

高频HF频率范围为3～30MHz，对应波长100～10m，称为短波，位于无线电频谱的较低端。

短波主要的特性是，可以通过电离层的反射传播到很远的地方。短波的波长在频率为30MHz以下电波中算是最短的，所以天线的规模远较中波、长波小，架设和选址也相对容易。利用短波，有时并不需要很大的功率和庞大的天线，也能进行远距离通信，所以短波也成为传统上远距离通信的黄金波段。

在短波波段内，除了有大家熟悉的短波国际广播电台，还有众多需要远距离通信的通信电台以及一些信标电台。随着卫星技术、微波技术以及海底光缆有线通信技术的发展，很多远距离通信被更稳定高效的卫星通信和光缆通信所取代，一度非常拥挤的短波频段逐渐空闲。不过短波通信依然是很多国家和军队的后备通信手段，因为短波通信并不依赖容易被破坏和发生自然故障的卫星和光缆等人造媒介。

短波广播大致分布在2.3～26.1MHz中的各个频率段。考虑到很多用户收音机的短波接收能力在12MHz以下，所



RFIC芯片的设计

2010年底，美国Wireless Dynamics公司将推出的一款iPhone新配件iCarte 110，可以将iPhone变成一台RFID读写器，使iPhone 具备NFC（近距离无线通信）双路通信、RFID读写和无接触支付功能，其工作频率为13.56MHz。

以12MHz以下的短波广播频率比较热闹。由于靠电离层反射传播的短波传播具有不稳定性，并且短波不同频率段昼夜的传播特性也不同，所以往往一套广播节目同时在多个高低不同频段的多个频率同时播出，在不同时段也采用不同频率播出。

为了奖励业余无线电爱好者对早期无线电通信做出的贡献，国际电信联盟特别在短波波段中划分出多个频率段供业余无线电爱好者使用，而且有些频段还是业余电台专用频率段。国际上一般认为，业余无线电爱好者是取得所在国家业余电台执照或资格认证的无线电爱好者。在短波中的业余频率分布在1.8MHz、3.5MHz、7MHz、14MHz、18MHz、21MHz、24MHz、28MHz、29MHz等几乎整个短波波段中。

在短波的高端27MHz波段附近有个CITIZEN Band，简称CB波段或市民波段，用于私人用户短距离通信，与业余电台的区别是无需考取相关的执照，通信限制也比较少。一般CB波段由固定的40个频点组成，使用者也习惯用频道号代替具体频率的概念。在我国大陆地区尚未开放CB波段，取而代之的是409MHz公众频率对讲机。

非接触式射频识别RFID技术部分使用13.56MHz或27.12MHz频率，均属于短波波段，虽然在RFID中电波辐射距离相当近，但也是需要使用无线电频率的。

甚高频（VHF）

甚高频VHF频率范围为30～300MHz，对应波长10～1m，称为超短波。

超短波的传播特性以直线传播为主，在超短波的低端30～50MHz依然具有一些短波的特性。使用甚高频频段的业务很多，包括对讲机、陆地移动业务、寻呼机业务、部分无绳电话、FM调频广播业务、航空通信和导航业务、业余电台业务、国际水上频道业务、电视业务等。

使用VHF波段的对讲机很多，国外很多军用对讲机都采用VHF的低端，主要在30～70MHz范围，这一频率段波长较短波短，适合使用便于移动的较短的天线，同时又具备了短波的一些特性，在丘陵灌木等中等起伏地带具有较

可接收航空通信频段的高级民用收音机

公众对讲机

好的传输效果。

我国早期无绳电话的规划是使用48MHz/74MHz和45MHz/48MHz频率组，我们看到早期竖着粗大天线的国产无绳电话大多使用这一频段。我国的调频广播频率范围为87～108MHz，而日本则使用76～90MHz频率范围。我国还划分出一段校园广播频率，供学校内部小范围使用，其频率范围比标准的广播频段稍低，在72～87MHz。离高校近的朋友，如果你的收音机支持接收这一频段，就有可能收到校园广播。

广播频段往上就进入航空导航频段，航空专业的VOR信标台就工作在108～118MHz，118～136MHz则为航空通信频段，包括飞机与ATC间的通话等，国内有些高级民用收音机已经覆盖这个频段。

136～174MHz为陆地移动电台频段，其中包括156MHz左右的国际海事水上专用频道和144～148MHz业余电台专用频段。这一频段波长在2m左右，比较适合用来制造手持小型电台设备，也就是我们常说的手持对讲机，采用螺旋天线可以让对讲机的天线控制在较短的天线长度水平。

在VHF段，有一部分的带宽被用于电视频道和电视伴音，其中电视标准12频道以下都在VHF频率范围内，13～68频道则属于UHF频段。

此外，我国为了弥补电视标准频道数量上的不足，增加了一些增补频率，用于有线闭路电视系统，其中增补的Z1～Z17也在VHF频段范围内。

特高频（UHF）

特高频UHF频率范围为300～3000MHz，对应波长1～0.1m，称为分米波，属于微波的低端。UHF的传播特性主要是直线传播。使用UHF频段的业务更多，UHF频段也是目前最热门的波段。UHF波段业务包括对讲机陆地移动业务、部分无绳电话、航空导航业务、业余电台业务、电视业务、移动电话业务、卫星电话业务、卫星业务、雷达、WIFI、蓝牙以及工业应用。

336～512MHz是目前国内最主要的陆地移动电台频段之一，其中包括400MHz专业调度对讲机频率、409MHz公众对讲机频率、430～440MHz业余电台频率、国外FRS频率。国家无线电管理局划分了409.750～409.9875MHz（间隔12.5kHz）共20个频率，作为免执照的短距离个人用的公众对讲机专用频率，适合团队出游、楼上楼下的近距离通信之用，使用者无需专门办理申请手续和缴纳频率占用费。430MHz可以给业余电台使用，在业务划分上属于次要业务与其他业务共用。实际上在国内，430MHz是业余电台数量最多也是最活跃的频段。400MHz对讲机的优点是使用的天线比150MHz对讲机短小，整体外观更为小巧，携带使用更为方便。我国还规划了800MHz对讲机频段，目前主要用于高端的数字集群通信系统组网通信。FRS是国外Family Radio Service的简称，其功能和性质与国内开放的409MHz公众对讲机相同，FRS对讲机具有14个频道，频率分布见表1。

表1

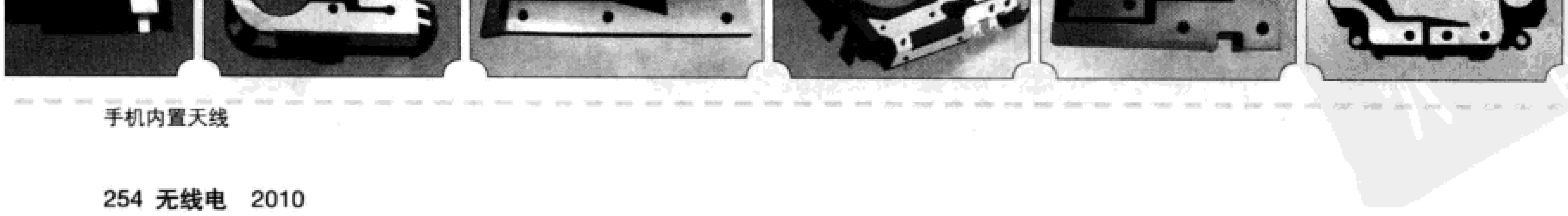
频道	频率（MHz）
1	462.5625
2	462.5875
3	462.6125
4	462.6375
5	462.6625
6	462.6875
7	462.7125
8	467.5625
9	467.5875
10	467.6125
11	467.6375
12	467.6625
13	467.6875
14	467.7125

表2

802.11b/g 频道与频率		
频道	中心频率	占用带宽
1	2.412 GHz	2.401～2.423 GHz
2	2.417 GHz	2.406～2.428 GHz
3	2.422 GHz	2.411～2.433 GHz
4	2.427 GHz	2.416～2.438 GHz
5	2.432 GHz	2.421～2.443 GHz
6	2.437 GHz	2.426～2.448 GHz
7	2.442 GHz	2.431～2.453 GHz
8	2.447 GHz	2.436～2.458 GHz
9	2.452 GHz	2.441～2.463 GHz
10	2.457 GHz	2.446～2.468 GHz
11	2.462 GHz	2.451～2.473 GHz
12	2.467 GHz	2.456～2.468 GHz
13	2.472 GHz	2.461～2.483 GHz
14	2.484 GHz	2.473～2.495 GHz

航空导航业务中DMZ测距装置和TACAN塔康系统工作在960～1215MHz频段。

大家常用的手机的工作频率都在UHF频段，GSM900的频率范围是890～915MHz/935～960MHz，双频GSM移动电话的另外一个频段DCS1800使用的频率为1710～1785MHz/1805～1880MHz。EGSM则使用885.2～889.8MHz/930.2～934.8MHz。CDMA800使用825～835MHz/870～880MHz。国内3G/TD-SCDMA系统使用1880～1920MHz，2010～2025MHz以及扩



手机内置天线

展的 2300～2400MHz频段。最新的WCDMA则使用1940～1955MHz/2130～2145MHz。

随着科技的发展，进口无绳电话越来越多地使用更高频段，如900MHz、1.9GHz、2.4GHz、5.8GHz，其最显著的区别就是天线被大大缩小了。现在很多使用特高频频段的无绳电话已经像手机一样看不到天线了，这是因为随着使用频率的升高，波长越来越短，天线的物理尺寸也越来越小，一些产品甚至可以将天线直接以印制线路板的形式做在印板上了。

一些卫星电话，如亚星、全球星、铱星、海事卫星等，大多使用1.5GHz、1.6GHz以及2.4GHz波段。卫星导航系统中，大家最耳熟能详的美国GPS系统L1，频率是1575.42MHz，此外还有L2和L5，分别为1227.6MHz和1176.45MHz。俄罗斯的GLONASS系统L1使用1.6GHz频段，L2使用1.2GHz频段。中国的北斗（一代）使用2491.75MHz频率，而北斗二代使用比一代相对较低的频率，与美国GPS目前使用的频率接近。可见，1.5GHz和1.6GHz是很热门的卫星频段。

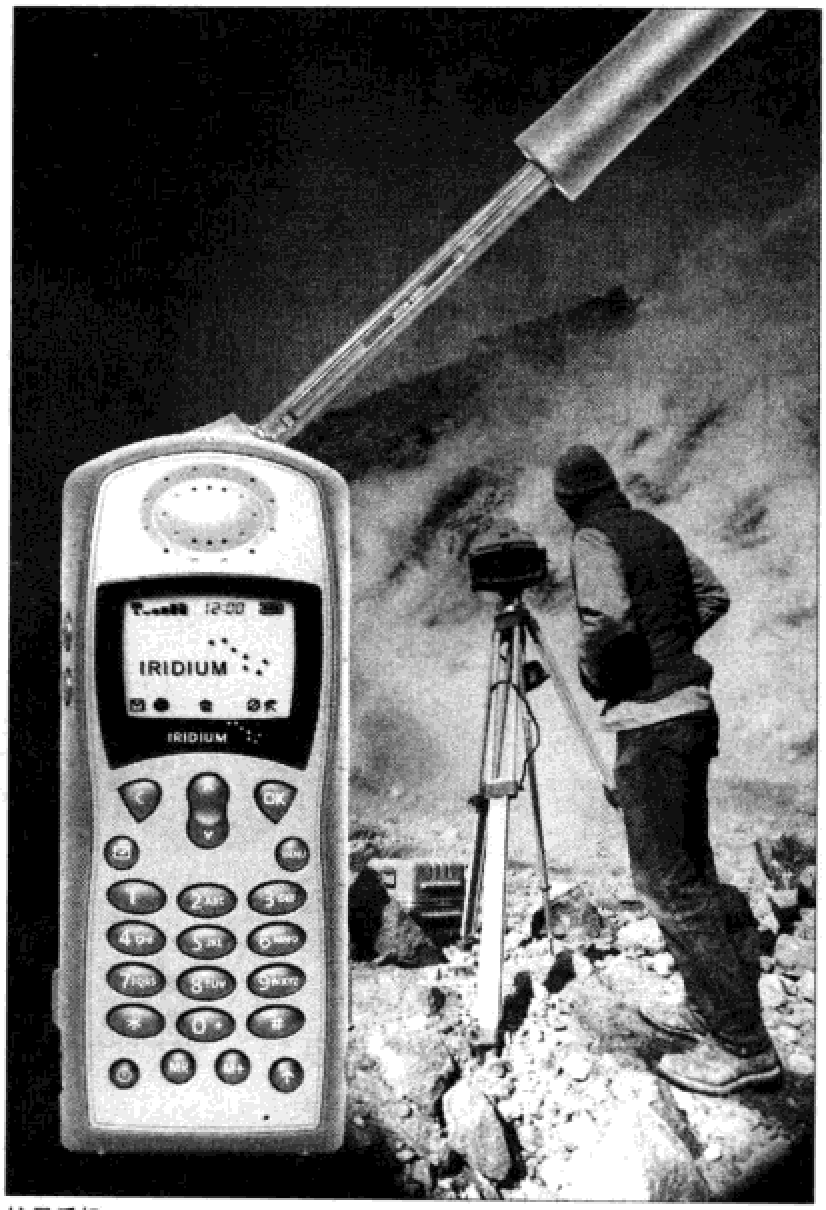
我们家里使用的WIFI无线网络802.11b/g使用的是2.4GHz频段，共划分为14个频点，每个频点占用约20MHz带宽（802.11b/g对应频率见表2）。最新的802.11N则采用增加占用带宽（占用40MHz带宽）的方式来进一步提高传送速率。用于个人移动电话和电脑的蓝牙无线电传输设备也占用的是2.4GHz频段。有的朋友既使用WIFI，又使用蓝牙，还有2.4GHz的无绳电话和无线键盘鼠标等设备，已经出现频率相互干扰的情况。

由于2.4GHz频段拥挤，很多新设备，如无绳电话，都开始使用更高频率的新频率段5.8GHz。5.8GHz是一个国际上新开放的频段，按照频率划分属于超高频SHF。

微波除了信息传递的功能外，还可以用来加热，一般家用的微波炉使用的频率是2450MHz，工业上用的微波干燥杀菌机大多使用915MHz的频率。

人类对频率的认识是逐步发展完善的。频率的使用从长波起是由低到高、由简到繁。短波HF在英文中是High Frequency，就是高频的意思。最早的无线电通信设备以长波为主，当时相对于长波、中波而言，短波的频率算比较高的，自然就有了High Frequency的表述。后来拓展使用频率更高的甚高频VHF和特高频UHF，在英文中是Very High Frequency和 Ultra High Frequency。当然以现在的眼光来看这些波段的频率并不算“高”。

在无线电通信发明不久，商业电台大量使用中波和长波频率，认为短波频率性能不



铱星手机

佳，因此并没有过多的人去关心短波波段。早期使用短波波段的大多是出于个人兴趣爱好的业余无线电爱好者，他们利用短波波段从事实验性通信。当短波被发现具备电离层反射特性，并且是远距离通信的理想波段后，人们才大量使用短波通信。一下子，短波成为了无线电通信的黄金波段。

随着频率使用者的不断增加，有限的短波和中波频段日趋拥挤，人们开始探索使用更高频率的波段VHF。高频率波段的使用与电子技术的发展和电子元器件的发展密不可分。早期的短波通信设备限于元器件和电路，大部分都工作在短波的低端，随着元器件性能的提升和新电路的应用才逐步向短波高端拓展。早期的通信机线路也非常简单，甚至还比不上现在在路边花几元钱买的简易收音机。目前，高频率段（10GHz以上）应用的元器件依然是无线电领域研发的热门项目，也体现着一个国家的无线电设备研发和制造水平。

支持GPS系统L1、L2的接收机

书号：22276　定价：240元
2010年4月正式出版

ARRL《业余无线电手册》经典制作

用于YAESU或ICOM电台的外置自动天线切换开关

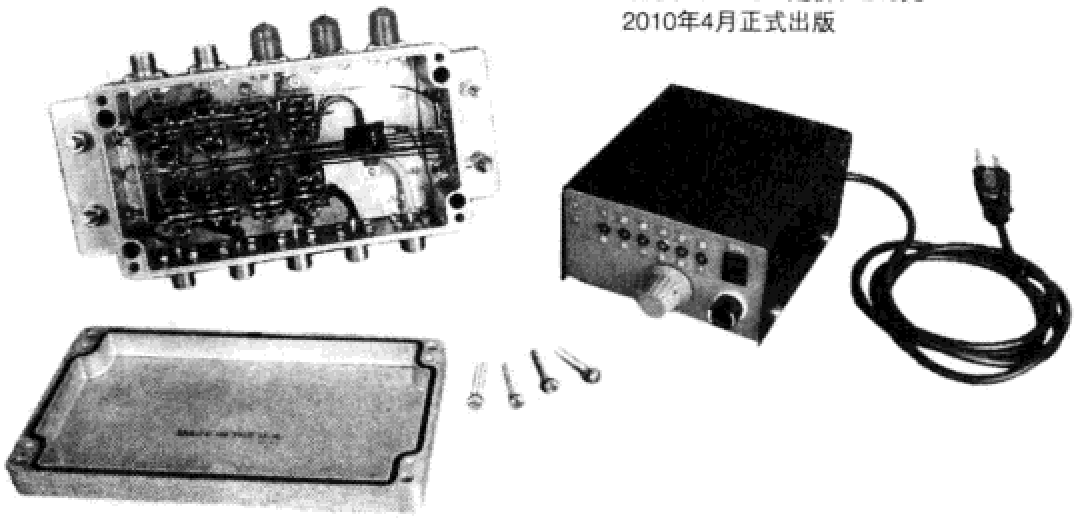
◎王龙（BA4RX）译

这个天线切换控制系统被设计成可以放入室外的闲置天线盒。如果这样安排的话，你只需将一个单独的天线馈线引入室内即可。这个转换开关由Joe Carcia，NJ1Q，设计并制作。作为W1AW首席操作员，Joe早在W1AW时就着手设计这个开关了。无论是ICOM还是Yaesu的HF电台，这个自动切换开关都能自动地选择合适的天线。另外，手动开关能使ICOM的自动选择暂时失效。这个功能也提供了其他电台使用天线的一种方法。当然，该天线开关并不是一个双电台开关，它一次只能工作在一个无线电台上。

许多制作者只想使用这个电路的ICOM部分或只用Yaesu部分，这取决于他们电台的品牌。这个设计方案是“黑客的梦想”，它可以被制作成多种形式，只要你能够想得到。

电路描述

图1是完整的系统方框图。一个ICOM或Yaesu HF电台通过电台后面



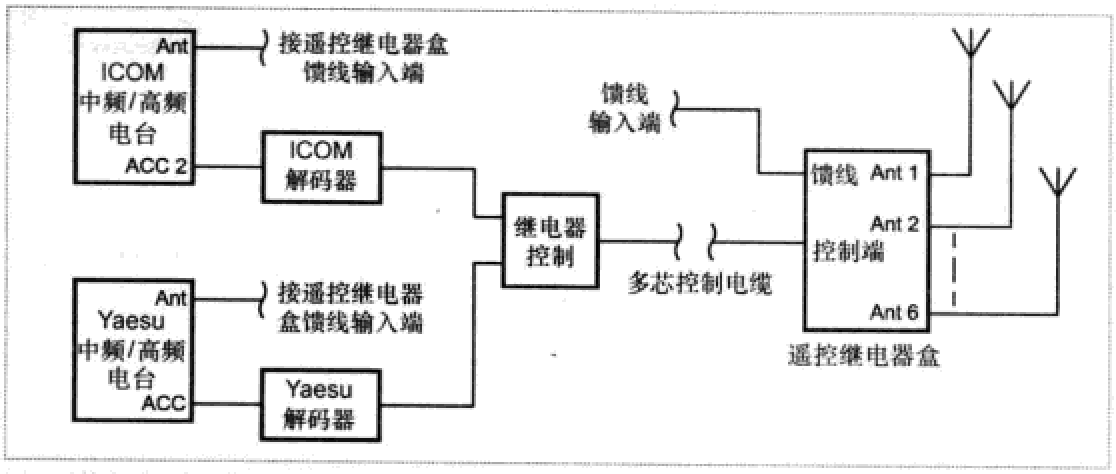


图1 遥控自动天线切换开关的方框图

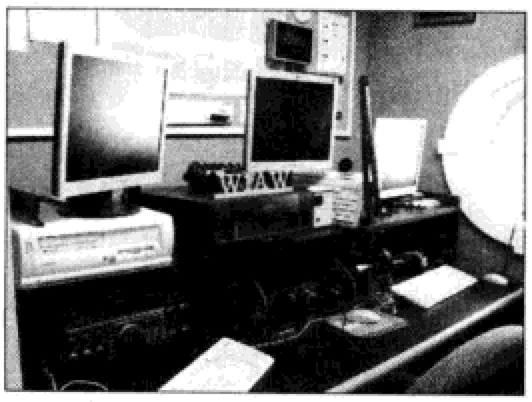

W1AW电台室

表1
ICOM附属连接器在不同波段时的输出电压

波段（MHz）	*输出电压*
1.8	7～8.0
3.5	6～6.5
7	5～5.5
14	4～4.5
18, 21	3～3.5
24, 28	2～2.5
10	0～1.2

注意：波段间的电压步长不是一个常数，但是其值接近于1V。10MHz波段的电压与其他波段的电压是不连续的。

表2
Yaesu 波段数据电压输出（BCD）

波段	*A* (1)	*B* (2)	*C* (4)	*D* (8)	*(等同于BCD的值)*
1.8	5V	0V	0V	0V	1
3.5	0V	5V	0V	0V	2
7.0	5V	5V	0V	0V	3
10.1	0V	0V	5V	0V	4
14	5V	0V	5V	0V	5
18.068	0V	5V	5V	0V	6
21	5V	5V	5V	0V	7
24.89	0V	0V	0V	5V	8
28	5V	0V	0V	5V	9

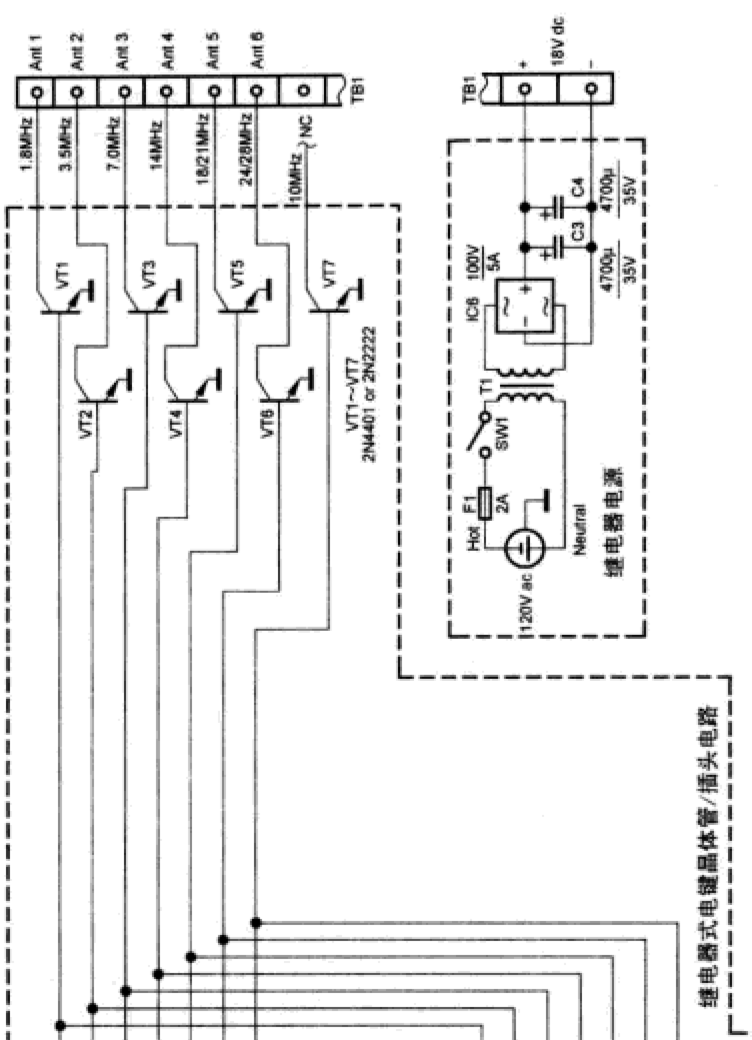
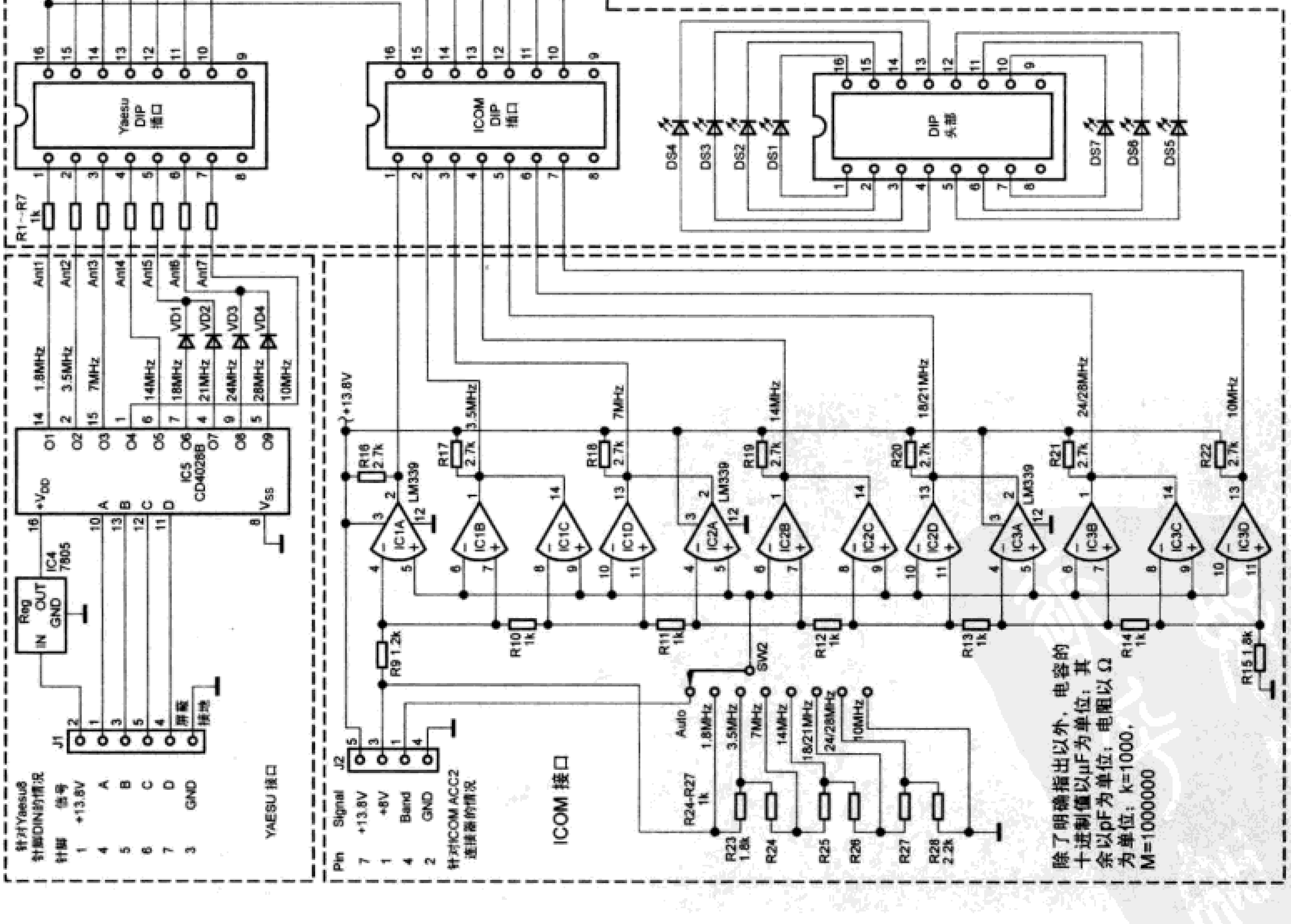


图2 主控制盒内部的电路示意图。电路主要分为4个部分：ICOM接口电路、Yaesu接口电路、继电器式电键晶体管/插头电路和继电器电源。电阻器为1/4W功率，容许偏差为5%的碳合成电阻器。旋转开关可以允许手动选择天线，这在设备中很有用，而且也不同于ICOM和Yaesu。在没有ICOM的设备中，稳定的8V参考电源必须使用手动开关。LED插头使用DIP接口来为使用的电台选择合适的接口电路。注意，只有Yaesu接口选择器插口有一致的电阻器。LED插头和LED要使用柔韧性较好的绞合线。如果只使用一种类型的设备，那么这部分电路将很难布线。

C1——10μF，16V电解电容器
C2——0.1μF，50V
C3, C4——4700μF，35V
VD1~VD4——1N4001
DS1~DS7——红色LED
F1——2A的保险丝
J1，J2——5针脚DIN插口（面板装置）
VT1~VT7——2N4401或2N2222
R1~R7——1kΩ， 1/2W
R9——1.2kΩ
R10~R14——1kΩ
R15， R23——1.8kΩ
R16~R22，R28——2.7kΩ
R24~R2——1kΩ
SW1——SPST，250V，15A
SW2——1个极，8个旋转位置
T1——12.6V交流电压 C.T. 2A（或相同功能的器件）
TB1——8位栅条状插座条
IC1~IC3——LM339比较器
IC4——LM7805 +5V稳压器
IC5——CD4028B（或相同功能的器件）BCD解码器
IC6——100V，5A （或更好的）桥式整流器
16针脚DIP插口
16针脚DIP头部
To Yaesu8-pinDIN：针对Yaesu8针脚DIN的情况
Pin 针脚
Signal 信号



的副接头连接到相应的解码器上。有些现代装置会有一个用于放大器、调谐器或其他设备的自动波段切换的副接头。例如，Ten-Tec电台提供一个10~14V的直流信号来插入DB-25接口，以便用于多种波段。其他电台在副接头的引脚上使用特别的电压来显示选定的波段。可在你的电台手册上检查详细信息，或联系制造商的服务部门。

一段同轴电缆和多连接头控制电缆从设备和解码器/控制盒引出，连接远程定位切换单元。遥控继电器盒装备有SO-239连接头，用来输入和输出到每个天线。当然，你可以使用任何型号的连接头。

ICOM电台使用一个8V参考电压和一个电压分配系统来提供步进的波段数据输出电压。表1展示了当电台切换到多种波段时在副插座上的输出电压。注意，7个电压阶梯可被用来选择不同的天线。该方案所需的ICOM副接头引脚分配如下：

引脚1：+8V参考电压；

引脚2：接地；

引脚4：波段信号电压；

引脚7：+12（13.8）V电源；

Yaesu 电台在四芯线上以二进制编码的十进制（BCD）数据提供波段

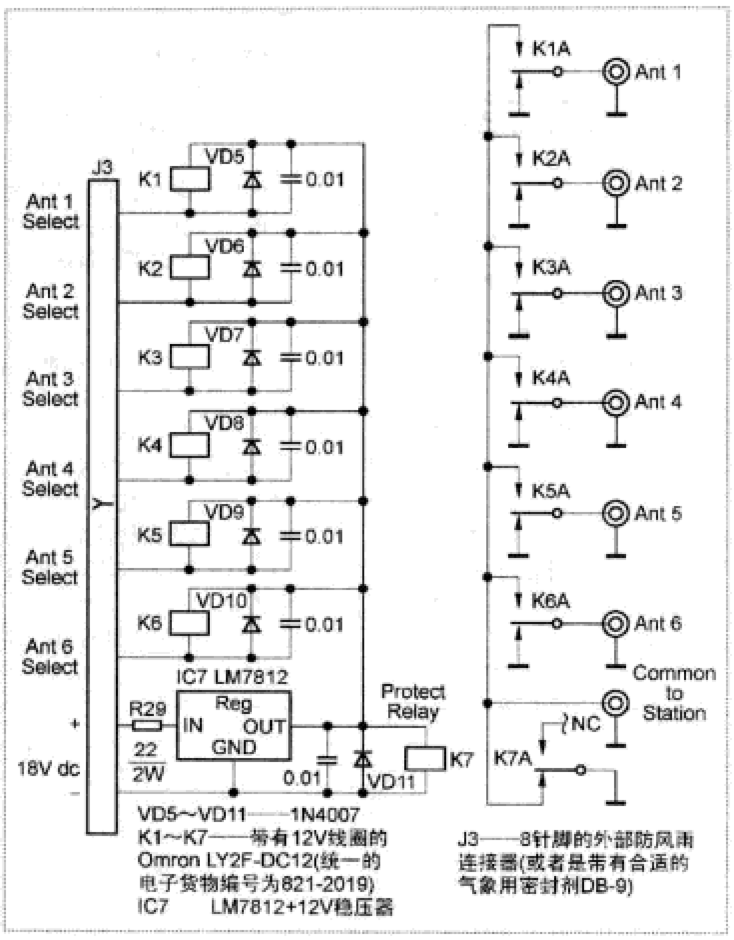


图3为外部天线继电器盒的示意图。所有的继电器都是双刀双掷，250V交流电，15A的接头。R29用来限制调整器电流。使用TO-220安装硬件把稳压器和散热片安装在一起。除了正常关闭和正常打开的开关接头，所有的线都是#22实心铜线。

VD5~VD11——1N4007

J3——8针脚的外部防风雨连接器

K1~K7——带有12V线圈的Omron LY2F-DC12

IC7——LM7812 +12V稳压器

信息。9个不同的BCD值允许你为每个MF/HF波段选择一个不同的天线。表2展示了BCD来自Yaesu无线电的多种波段的BCD数据。Yaesu的8脚DIN副连接引脚分配如下：

引脚1：+12 （13.8） V 电源

引脚3：接地

引脚4：波段数据 A

引脚5：波段数据 B

引脚6：波段数据 C

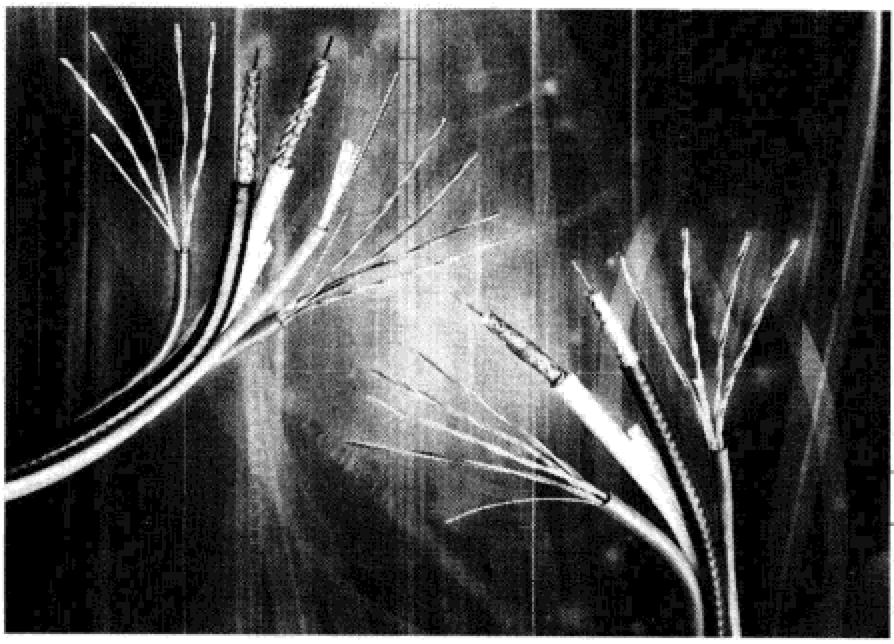
引脚7：波段数据 D

图2是控制盒的原理图。首先，让我们把注意力集中到外置天线盒上。

外置天线盒

只有连到继电器盒的控制线数量限制了这个继电器盒可以切换的天线数量。本文所制作的单元有 10 个 SO-239 接头，用来切换公共馈线到任何天线。许多爱好者会使用八头旋转器（如 Belden 9405）用电缆联到继电器盒上。使用八芯线，我们能控制 7 个带继电器线圈电源的继电器（6 个用于天线，1 个用于馈线防雷接地），还有接地线。我打算使用 8 个继电器，这样当我在 W1AW 上安装该单元时，就能在所有 9 个天线中作选择。这个盒子包括一个 12V 直流稳压器（LM7812 或相同功能的器件），这些我全部装入这个铝盒中。我在稳压器的后面和盒子间使用一个绝缘垫片（TO-220 衬垫片），并提供一层散热片复合在绝缘垫片的两侧，另外还有一个接头用于电源和控制线。我使用一个 DB-15 接头，因为我打算以后加入更多的继电器和控制线，这样我就能在 9 个天线间切换。DB-9 接头适合与八头控制电缆一起使用，或者你也许希望使用一个防水接头，这就看你自己了。图 3 显示了这个继电器盒的原理图。

既然这个盒子将装在室外，就需



belden多芯线

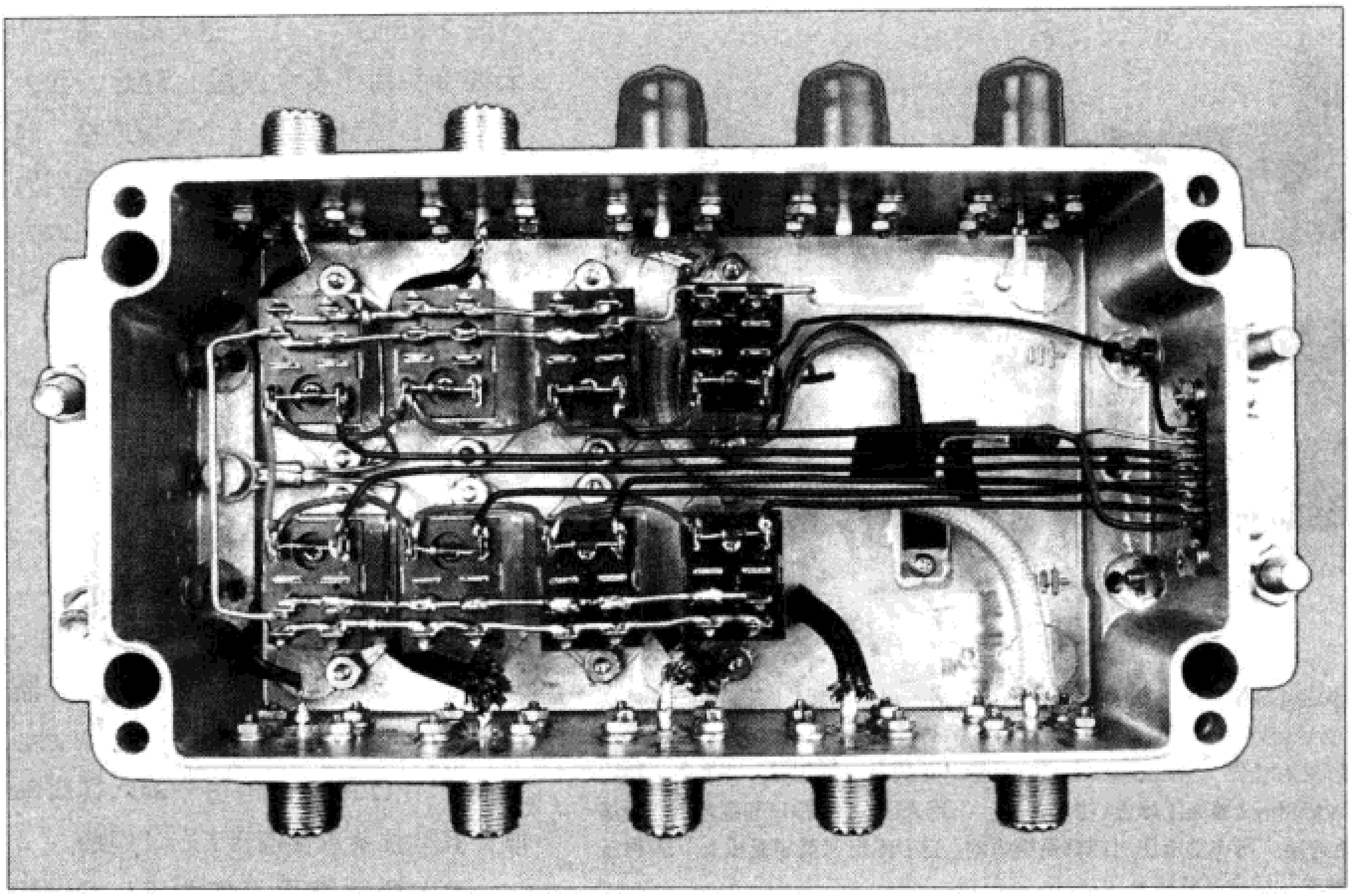
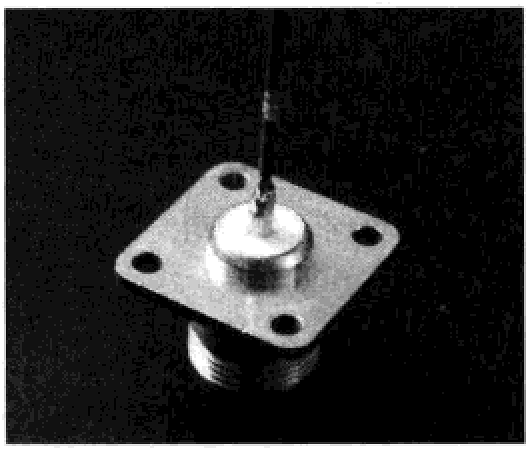


图4 外部继电器盒的照片。LM7812稳压器安装在继电器盒的底部。正常的继电器开关通过#12实芯铜线并联在一起。



焊接了法兰的SO-239

要使用防水的金属盒子——这里使用的是不漏水的铝盒子，这个盒子相当重，可以适应长年的复杂气候条件。当然，你可以自行选择使用哪种盒子。

放入同轴电缆接头，要使每个天线的接头靠近继电器，不要放得太拥挤。我使用法兰连接SO-239（尽管单孔类型也可行）。由于额外的气候保护（以及传导率），我在接头法兰上使用的是Pennetrox®，包括安装螺丝钉。在电源/控制线接头上，我使用的是Coax Seal®。

天线继电器

这个方案中最困难的部分之一是继电器的改造（DPDT Omron LY2F-DC12）。为了提高绝缘度，使用并排接线连接可移动的接触器（电枢），电线穿过继电器盒上的一个孔引出。

将这个继电器从其塑料盒中移除。从电枢上拆焊并去除小线。在电枢接线片上仔细地焊接一个跳线脚。我用的是# 20焊盘，然后在电枢接线片两边焊接一段非常软的线（如RG-58电缆上的编织线）。显然，电线的位置要靠近你要连接SO-239的一边。另外，你还需要在塑料盒上做个孔，这个孔的大小足够容纳电枢线而又不会在电枢自由移动时造成任何损坏。我在这个接线上滑入一段绝缘管，以防止它和铝盒短路。

常开和常闭接触器也并排地接线，这能在它们上面的接线片上做到。因此，我使用#12实芯铜线。

我在铝盒中放入继电器，顺成直线，这样它们合在一起接线就不难（见图4）。除了用于继电器线圈的电线为#22实芯线外，在其他连接中我都使用的是#12实芯铜线。

为了排除尖峰信号或反电势的可能性，1N4007二极管被焊入每个继电器的接触线圈中。另外，串接的0.01μF的电容器会减小RF对继电器运行造成突发问题的可能性。

既然电缆从室内连接到塔的距离可能非常远，就应该考虑它所导致的压降。继电器要求12V直流电。同样地，我装了一个12V直流稳压器，并用来自控制盒中的18V直流电馈电。如果电缆连接距离不远，也可以只使用12V电源。

其中一个继电器是用来防雷的，不使用时，继电器将来自室内的电线接地。当控制盒激活时，它给这个继电器提供电源，这样就移去电台馈线的接地。所有天线都通过常闭继电器触点接地，它们会保持接地，直到继电器收到来自控制盒的电源。

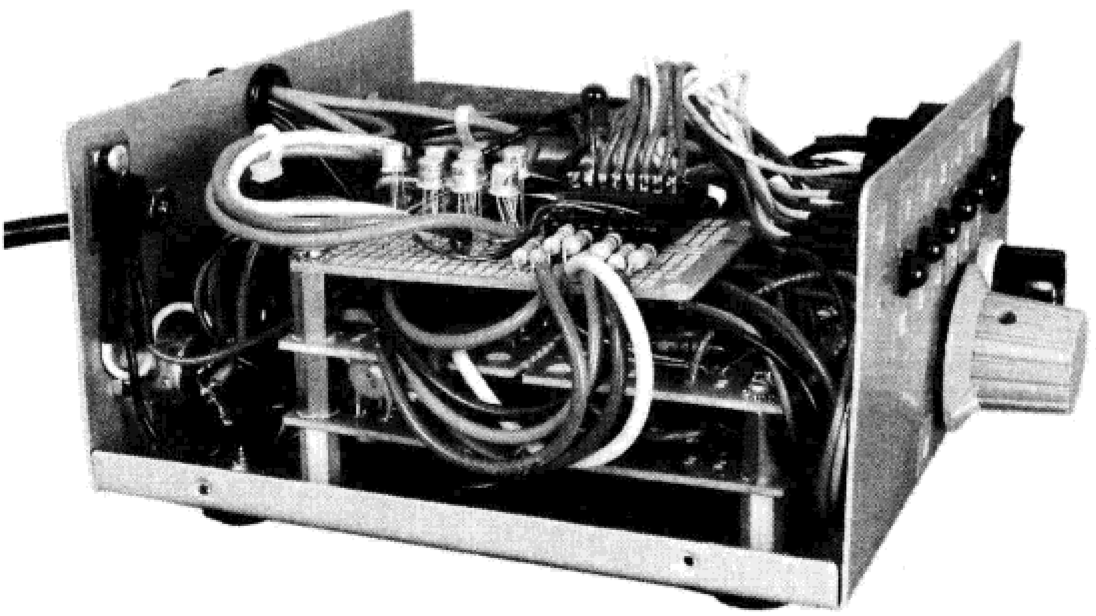


图5 控制盒的内部结构照片。RadioShack的铝封装设备把所有的组件都固定在一起。ICOM接口构建在一块RadioShack通用设计板（276-159B）的两段和同一块设计板的另外一个单独段上。封装设备的底板和中间部分的右半部分用来固定ICOM电路。Yaesu接口构建在普通PCB的另一个部分，并使用了中间部分的左半部分。顶部电路板为RadioShack普通工程板（276-150），用来固定DIP插口和继电器选择晶体管。电路板使用了点对点的线路连接。所有的电压引线都是绝缘的。LED固定在前端面板上。5V稳压器7805使用TO-220安装，硬件和散热片固定在背板上。

控制盒

控制盒是系统的核心。除了Yaesu和ICOM解码器电路和这个继电器控制电路以外，供给继电器的18V直流电源被放在这个盒子里。所有到继电器盒的连接都通过一个8位栅条状插座条，放置在控制盒后面。

盒子的前面有LED，用来显示选定的天线。可以使用一个旋转开关来手动选择天线。电源开关和保险丝也装在前面板上。

Yaesu 和 ICOM 上的ACC插座的线路图是如此不同，我选择了5针DIN制接头用在控制盒的每个装置上。既然只有一套LED，那么我使用了一个8脚DIP头来为每个电台选择相应的控制电路（见图5）。

ICOM 线路

波段数据信号从ICOM电台进入一串LMH339比较器中。电阻R9经R15分割来自设备的8V参考信号，以在波段信号电平间提供中点参照。LMH339比较器决定哪个波段的电台接通。单比较器选择1.8或10MHz波段，因为那些波段是在量程的反端。其他每个波段都使用两个比较器。一个确定波段信号是否在波段电平上，另一个确定它是否在其下。如果信号是在那两个电平之间，那么相应的LED和继电器触发晶体管切换开关被触发。

我在RadioShack通用设计板上使用点到点的接线来构建各种线路部件。ICOM接口使用276-159B的两段来用于IC1和IC2。另一段的设计板用于IC3，放在中段的右边。ICOM电路允许手动进行天线选择。8V参考电压通常是直接取自ICOM的ACC插座，如果这个电路和其他设备一起使用，那么应提供一个稳定的8V电源。

YAESU线路

Yaesu波段数据的好处是它是二进制格式的，这意味着你可以为波段选择一个单BCD解码器。BCD输出范围为1~9。基本上，可以在9个天线（或波段）间切换。既然继电器盒只需切换6个天线，那么我就合并控向二极管（图 2中的D1~D4），这样就能将一个天线接头用于多个波段。对此，我为17m和15m选择使用一个天线连接，而另一个连接用于12m和10m（这是因为ICOM波段数据合并这些波段）。本方案中，我没有为30m天线设计控制线或继电器。

RadioShack 276-159B设计板的一部分容纳了Yaesu接口的线路。其线路板见图 5中的中层。

DIP插座和插头

RadioShack 通用设计板 276-150，沿着继电器式电键晶体管容纳 DIP 插座。该板展示在图 5 的顶层上。Yaesu 插座有 1kΩ 的电阻与每个输入插脚串联，其他插头直接连接 ICOM 电路。

DIP插头被用来作为在ICOM和Yaesu线路间切换的继电器式电键。LED被用来显示天线数据。当连到LED时，使用多股线。

继电器式电键晶体管

两种线路都使用相同的晶体管电键原理，所以我仅仅需要一套晶体管。每个晶体管电极连到终端栅状插座条上。发射极接地，底部并排地接到两个16脚DIP插座上。波段数据开启晶体管中的一个，使继电器控制端有效地接地。电流流过选定的继电器线圈，将继电器切换到常开位置，并连接电台馈线到相应的天线。

电源

继电器电源的使用要求十分严格，其他电源需求取自使用的设备。在电源方面，这儿还有些改变的空间。在本例中，我使用的是一个 12.6V，中心抽头的，2A 电源变压器。我将该输出馈送到桥式整流器和两个 4700μF/35V 的电解电容。当然我用这些器件只是因为我手头刚好有它们，你可以自行选择合适的器件。

天线基础讲座

选对一副好天线

◎杨法（BD4AAF）

一副性能优良的天线是每个业余电台爱好者所追求的目标，什么样的天线才算得上是好天线，市场上很多天线的外形类似但价格相差巨大，它们的差异在哪里，在本期文章中我们来了解一下。

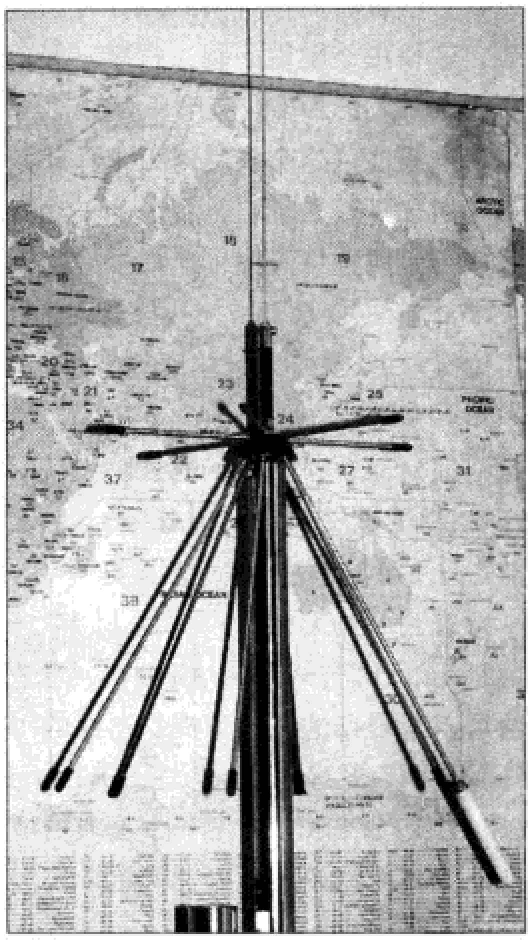
天线理论从创始到现在已经有很多年的历史，很多天线新技术不断地发展，不过在常规VHF和UHF天线技术方面并没有太多的突破。目前业余电台使用的常规天线形式都是很早之前的技术成果，从制作需要的技术角度而言，它对于专业人员来说几乎没有门槛。国内一些著名天线企业生产的天线品质已经达到相当高的水平，并且有一些产品还进入国外市场并为国外品牌提供OEM。不过，大部分国内天线大企业并不有意涉足业余电台天线领域，因为目前业余电台用户大多喜欢使用U/V双频段天线，这类复合双频段的天线与传统单频段高增益天线在设计和结构上有些不同，同时业余电台对天线的需求总量不多。因此，目前一提到高品质双频段天线和漂亮的车载天线，非日本进口天线莫属，而其中DIAMOND天线是最早进入中国业余电台市场的品牌并一直保持优质优价的，无论从天线外观还是性能都深受用户认可，即便近年来有其他日本和中国台湾品牌的天线进入市场，也无法撼动DIAMOND品牌天线“老大”的地位，同时DIAMOND天线早已成为各种档次仿制天线的首选目标。

天线是具有相当技术含量的产品，对于著名品牌天线来说，可见的金属材料成本只占其售价的很小部分，产品价值主要体现在产品的技术性能上。很多老 HAM 都有切身体会，不少外形类似的天线其实际收发性能大不一样。有的车载天线新的时候看上去很漂亮，可使用不到一年已经锈迹斑斑了。对于 HAM 来说，通常的天线检测手段主要是测量驻波比，而天线的驻波只能反映传输匹配情况，与天线的发射效率和增益没有直接的对应关系。精确测量天线的增益和波瓣需要非常专业测量设备和电波暗室，这些都非业余用户所能企及的，所以天线的增益只能参考厂家给出的数据。而大部分仿制天线的小厂虚标数据的情况非常严重，几乎没有参考意义。

一副理想的天线应该具备以下特性：科学的设计、适宜的增益、良好的匹配、持久的耐用度、优良的安全性、方便高效的装配。制造一副好的天线涉及多个领域，除了天线设计外，在实际生产加工中还涉及材料、金工、电镀、模具等多个领域。在科技高度发达行业细分的时代，如果一个人要做到样样精通是非常困难的，所以个人爱好者业余DIY的天线可能在电气性能上很好，但综合考量还是很难与正规成品匹敌。对于大部分普通HAM用户来说，只有在实标数据的前提下对比具体参数才有意义，口碑好的著名品牌就是产品质量的保证。

天线设计一瞥

天线设计是一门专门的学问，很多HAM都追求高增益天线，但天线的增益与天线的尺寸存在千丝万缕的联系，过小尺寸的天线不可能具有理想的增益，很多缩小体积的手段都是以牺牲增益来换取的。



DIAMOND D190天线

天线设计根据不同的应用场合参考工作频率（波长）和可以接受的体积尺寸以及对增益的要求，采用不同类型的天线形式和选材。例如，手台天线为了保证效率，大多采用1/4波长为基础的设计，对于波长比较短的430MHz频段，1/4波长典型长度为17cm，比较容易接受。对于可以接受更长长度的用户，可考虑采用1/2波长形式以进一步提高天线的增益。对于2m波段/144MHz频段，用1/4波长典型长度超过50cm的天线作为手持电台天线已经很长了，所以一般都采用加载线圈的方式缩短天线长度或者采用法向螺旋天线形式（也被称为“弹簧天线”），尽管这样做会损失一些增益。著名的DIAMOND RH771、RH915S、RH999高效手台天线都采用144MHz 1/4波长（缩短）+ 430MHz 1/2波长的结构，以获得在430MHz 2.15dBi的增益。

软质鞭状天线成为目前业余手

持电台天线的主流，较软的振子携带方便，不像硬制拉杆天线那样容易磕碰。软鞭由于刚性问题，长度一般不可能做得太长，多数应用长度在60cm以下的天线（这个长度对日常移动携带使用已经很长了），更长的天线依然使用金属拉杆天线，比如长度达到93cm的DIAMOND RH770天线就只能采用拉杆方式。由于长度的增加，RH770采用更高增益的形式，144MHz 1/2波长+430MHz 2×5/8波长的结构,以获得在430MHz 5.5dB和144MHz 3.0dB的增益，几乎可与车载天线增益媲美。

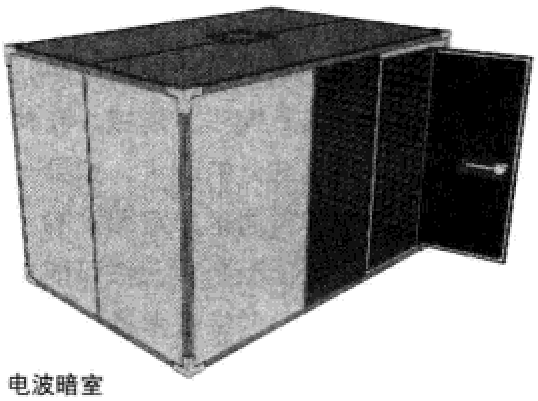
在手台天线振子的材料方面,Diamond率先采用合金丝材料，合金丝可以在很细的直径下提供很好的刚性,同时具有超好的弯曲特性，Diamond SRH519、SRH815S、SRH36是其典型产品，其主振子还没火柴棍粗，弯成一个圈也没问题。

车载天线用户可以接受的天线长度就有所增加，所以可以采用增益更高的形式，通常1m左右的车载天线也采用144MHz 1/2波长+430MHz 2×5/8波长的结构，典型产品是DIAMOND SG7400。通过改进，馈电端引入C-Load可以进一步提高增益，典型的产品是DIAMOND SG7200。如果用户可以接受更长的天线长度，如DIAMOND SG7900那样的1.58m长，那么改进的C-Load 144MHz 7/8波长+430MHz 3×5/8波长的结构可以获得在430MHz 7.6dB和144MHz 5.0dB的高增益。

基地台常用的玻璃钢垂直天线长度就更不受过多长度的限制，在可以接受的长度下采用更多的阵列以获取高增益。例如，在HAM中名气很大的DIAMOND X510天线就采用了改进的C-Load 430MHz 8×5/8波长+144MHz 3×5/8波长的结构，具备430MHz 11.7dB和144MHz 8.3dB的高增益，同时X510天线的长度也达到了5.2m。

除了天线的基本结构形式,一些实

ARRL《天线手册》中介绍的一款顶部和中心加载的144MHz天线



电波暗室

用的设计在实际使用中会给用户带来很多益处。在车载天线上加入弹簧的结构可以大大增加车辆在颠簸路面行驶时天线的稳定性，缓冲对天线根部和吸盘的作用力。DIAMOND车载天线的“F.O.S”结构方便天线主振子90°翻折，可放倒天线，给汽车进入低矮车库桥洞带来方便，有了F.O.S结构，不再需要为了临时放倒天线而拆卸天线了。DIAMOND基地型天线（部分）具备的“D.C”特性，天线设计时将天线顶端的金属帽与地线间存在直流短路通路，这样可以有效泄放天线周围干燥空气中积聚的电荷，有效保护电台设备不受高压感应电的威胁，用户也不容易看到悬空的天线接头常常对地放电弧的可怕场景。

天线仿制揭秘

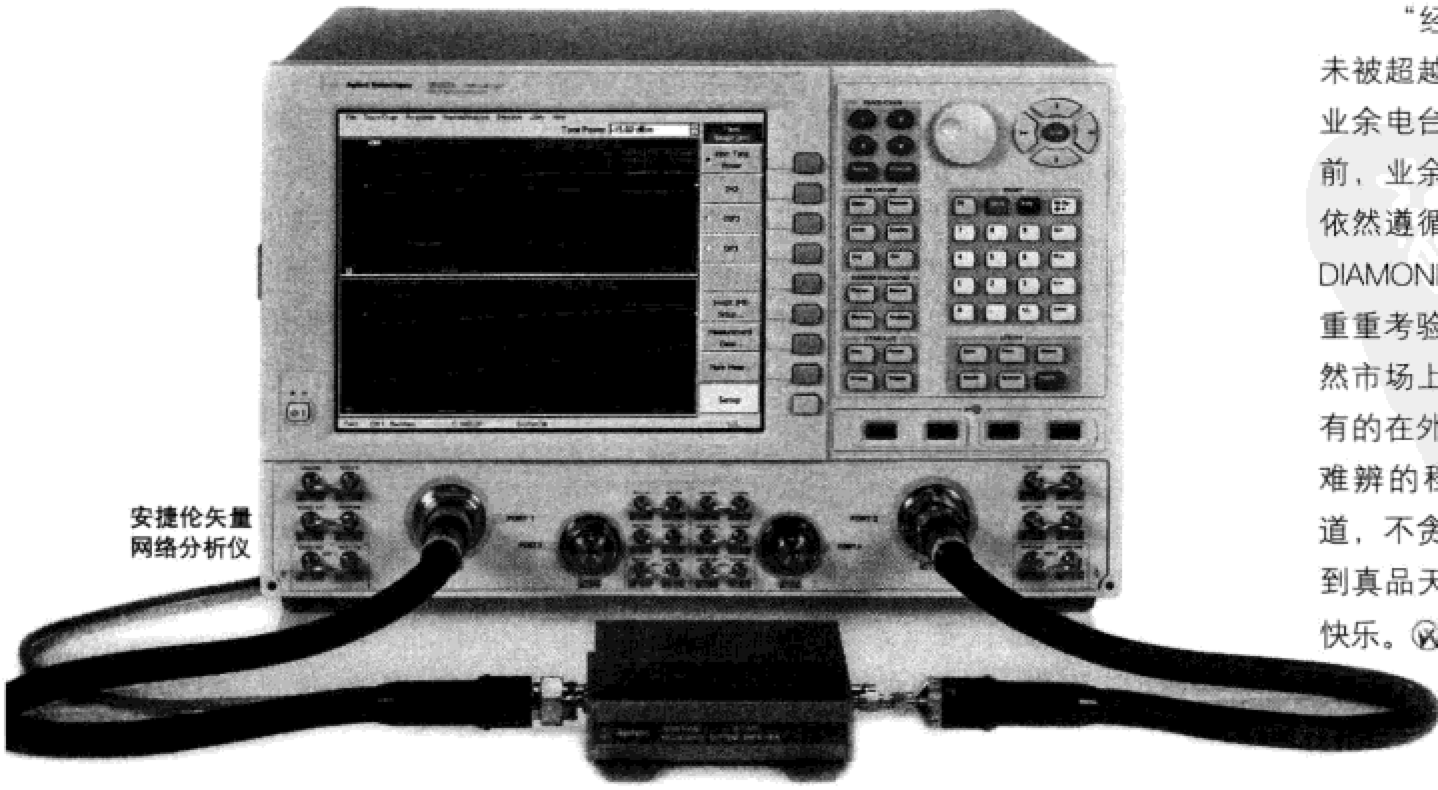
随着科技的发展，现代高频测量仪器突飞猛进，天线的仿制或者技术提取并不是十分困难的事情。完美仿制可以分为以下几个步骤：第一步，取得样品，即购买几副成品天线；第二步，拆解样品，将天线拆分成仿制所需最小独立单位；第三步，测量与记录，记录下天线物理部件的尺寸和基本结构；第四步，通过仪器对于天线和涉及的加感线圈进行测量，获得其主要参数；第五步，用专业的天线仿真软件将测量得到的参数进行模拟重建，以理论计算的方式加以论证，并对比理论数据和实测数据间的差异；第六步，根据修正的理论数据和实测数据制作试验性仿制品，用网络分析仪观察其频幅特性，并修正到理想状态或达到与样品具有类似的特性；第七步，在电波暗室中测量天线的辐射特性（包括增益、波瓣等参数），通过微调试验品上部件的参数，并不难获得与样品类似的性能，甚至可能更好，最终，从试验品的制作上总结出技术工艺资料，为大规模流水线生产奠定技术基础。在提取了天线设计技术后，就需要考虑规模化生产，首当其冲遇到的是选材问题，包括天线振子的材料，有些部件需要开模具、有些部件需要金工加工。解决材料问题后就是生产线的建立，产品的各个部件，尤其是关键部件批量加工的性能稳定性，通常需要一段时间的摸索和经验积累。最后是产品总装后的品质检测和控制。

上述流程虽然看似顺理成章，但实际操作起来需要强大的技术支持和经济基础。其中提到的网络分析仪和专业天线仿真软件都价格不菲，一台安捷伦的矢量网络分析仪近百万人民币是很平常的价格，电波暗室的建设和配套测试仪器更是天价。这样的技术和设备支持一般都限于国家级的科研单位，中小型企业大多不可能具有这样的资源，加之业余电台天线总体利润不高，数量也十分有限，所以以盈利为目的的商家不会有很大的投入，一般都是寻求低成本的仿制途径。通常，小天线企业只能顺利完成前面提到仿制步骤中的前三步，第四步以后就开始大打折扣了。

很多小企业的研发和检测的仪器只有老式的扫频仪和低价位带跟踪源的频谱仪，所以很难保证“拷贝不走样”，容易出现“形似而神散”。一些小作坊在批量生产时由于工具限制和技工素质原因，致使加工部件的一致性和稳定性不佳，再加上最后的品检把关不严，导致最终产品个体差异大。同样是仿制天线，有的用户觉得勉强还行，有的用户拿到手驻波就很大，这些情况的原因多在于此。

更有一些劣质天线，只模仿外形而偷换更易于生产的简单天线形式，使天线增益大打折扣。很多仿钻天线在仿制时注重的只是有效控制带内驻波比，根本没有精力和能力去关注天线的增益，天线包装袋上的标注参数是直接照抄真钻天线的数据。因为广大HAM用户对天线的检测能力大多只停留在驻波比表测量天线驻波而已，只要控制好驻波比，即便是老HAM也很容易被忽悠。

DIAMOND这类的品牌天线，借助品牌优势，可以制订较高的销售价格，厂家也有条件使用优质的材料和精密模具提高产品的品质，同时产品经过多年的生产，也积累了丰富的品质控制经验，并不断加以改进，从而进入良性循环。而仿制天线最大的推销绝招是“廉价”，实现廉价主要靠成本控制，成本控制最基本的方法就是控制原材料的价格，尽可能选择性能还勉强过得去、价格便宜的材料，所用的模具也是低价货（精密模具的价格非常贵）。不同的仿货厂家间也有竞争，其中的价格依然是焦点，要天线更便宜，只能在材料上继续打折扣。如此一来，形成了恶性循环。有的原来比较注重性能的天线厂家也在价格压力下频频缩水，使得仿制的钻石天线出现一代不如一代的情况。除了高频性能外，材料的差异使得天线的使用寿命更受到影响。



安捷伦矢量网络分析仪

一些仿钻的车载天线由于振子钢丝材料和表面处理的不同，较真品钻石天线容易生锈得多。由于部件加工误差大，导致有的产品外观一看就比较粗糙。一些仿钻玻璃钢天线，由于采用玻璃钢的品质问题，耐紫外线能力差，长期户外使用容易造成玻璃钢外套管老化、开裂。玻璃钢套管的品质同样很有讲究，高级材料具有壁薄、重量轻、强度高、柔韧性好、不易老化的特点。如DIAMOND 著名的 X700H 和 X510 天线，分别长达 7.2m 和 5.2m，架设起来后，虽然天线顶端随风摇晃得厉害，但鲜有听说被风吹断的情况发生。整个天线重量只有 3.8kg 和 2kg，并都可以抗 40m/s 的风速，足见其玻璃钢套管的强度和柔韧性。相比一些仿制产品采用的玻璃钢套管壁厚厚重量重，柔韧性不佳，有的玻璃钢套管由于品质问题，大风下容易折断。DIAMOND X510 内部使用铜棒制作，玻璃钢套管拼接处采用 DIAMOND 的 D.J.S 连接结构，保证连接口的强度和防水性。仿制产品加工不到位，甚至有的直接采用螺口结构，导致仿 X510 的天线容易出现漏水的情况。笔者还看到过很假的廉价仿 X510 天线，内部竟然完全用电缆结构制作。一些所谓高仿的 X510，内部使用的铜棒粗细和线圈绕制的工整度都有明显的差异。

“经典的设计经常被模仿，但从未被超越”，这句时髦的广告用语在业余电台天线市场上也得到体现。目前，业余电台市场上的进口天线基本依然遵循了一分价钱一分货的原则，DIAMOND这类老品牌天线的品质经过重重考验，受到HAM广泛的肯定。虽然市场上仿制钻石天线的产品很多，有的在外观上和包装上已经做到真假难辨的程度，但把握可靠的货源渠道，不贪小便宜，依然可以方便地买到真品天线，享受高品质产品带来的快乐。

随着数码相机、MP3等便携电器的普及和流行，可充电电池成为越来越重要的角色。由于与一次性电池相比，可充电电池具有综合使用成本低、更有利于环保的特点，所以深受广大用户的喜爱。现在，虽然很多产品都使用锂电池，但作为通用型可充电电池的镍氢电池依然占据主导地位。为镍氢电池充电必不可少地需要用到充电器，市场上的充电器品种繁多，价格从十来元到数百元都有。这些充电器究竟有什么差别，什么样的充电器才是优秀实用的充电器呢？

◎聆听

与充电器零距离接触

充电器精要大解密

◎聆听

目前主流的自动充电器主要是由交直流变换单元、充电控制单元、外部显示单元、外壳线路板接触件4大部分构成。

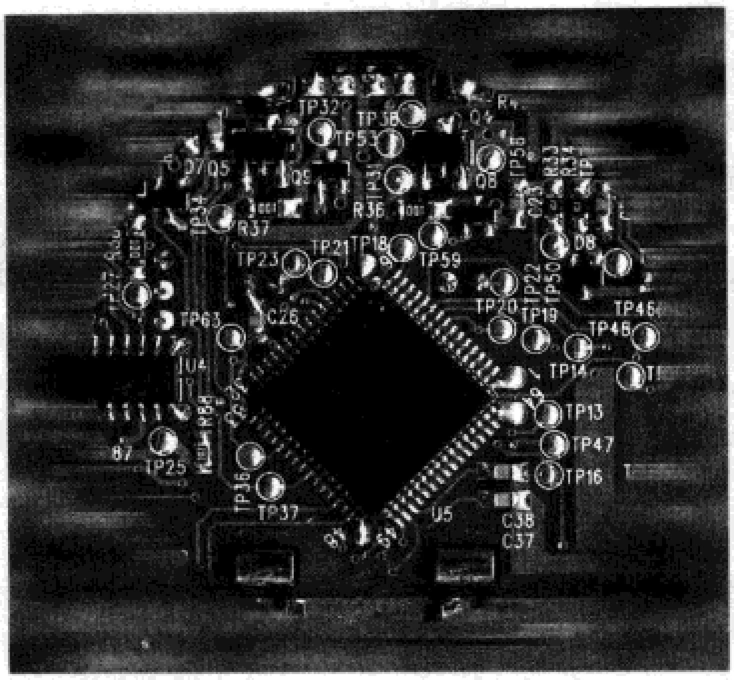
交直流变换单元负责将220V交流市电转换成低压直流电，供充电器的低压电子线路使用，通常也被称为“电源”部分。目前，为了缩小体积、降低成本，基本都采用开关电源电路，按照设计的不同电源，有外置、内置电源之分。

充电控制单元以专用控制芯片或单片机为核心。由于成本问题，目前家用级充电器以单片机为主，充电算法和检测算法由软件编程而定。不过，电压检测精度受到单片机中模数转换器性能的限制。充电器所使用的单片机的档次在相当程度上决定了该充电器的性能，当然，好的软件编程也很重要。由于使用了单片机，所以在宣传上往往被冠以“微电脑控制”、“智能”的名头。其实，不同档次单片机的性能会有很大的差异。有的充电器增加了其他扩展传感器（如温敏电阻）和通信界面（如RS232接口），以达到增加检测参数和与外部设备交换数据的目的。

外部显示单元是用户界面，用于充电器状态和数据的反馈，从简到繁，有发光二极管型、液晶屏图标显示型、液晶笔画屏数据显示型、液晶屏点阵数据显示型等。外壳和接触部件属于金工部件，也是充电器最直接面对客户的部件，接触部件应确保电池与充电电路接触良好。

内功篇

充电器最主要的本职功能就是为电池充电，理想的充电器是在极短时间内恰到好处地将电池充满。但这只是理想，由于目前主流镍氢电池的特性不可能实现瞬时充满，而且如何正确检测并判断电池已经充满电也是一个在不断研究改进的课题。镍氢/镍镉电池的高级充电线路要比锂电池充电线路复杂得多，也更具科技含量。


充电器内部芯片

早期的镍镉、镍氢电池采用小电流长时间的准恒流充电方法。充电电流在1/10C左右，通过用户自行计算电池容量和充电电流的关系来人工控制充电时间，普遍采用的公式是“电池容量/充电电流×1.5＝充电时间”。该充电方法比较原始，充电时间很长，往往需要10～15小时，遇到高容量电池，需要的时间则更长。这类充电器的电路十分简单，每路充电核心线路一般只要用1个二极管整流，再用1个电阻限流就可以了，最多再加上电容和指示灯。现在一些10元以下的廉价充电器多采用这类线路。随着用户对充电器自动化和效率要求的提高，这种充电方式基本被淘汰，只出现在廉价充电器产品中。

快节奏的生活让人们对充电效率提出了更高的要求，大家希望在较短的时间内完成充电任务。理论上，充电器可以通过提升充电电流来减少充电时间，但电流并不能无限制地简单增加，因为随着充电电流与电池容量比的增加，电池在充电过程中的发热会非常明显，同时电池内部压力也会明显上升，这对电池的寿命和充电安全非常不利。过大的充电电流轻则加剧电池“冒盐”（电解液少量外泄的结果），重则在充电过程中电池爆炸。所以目前通用型充电器对镍氢电池的快速充电一般都建议以0.3～1C的充电倍率（充电时间为3～1小时）进行。对于2C以上的超快速充电，一般只有特定的电池配合专用的充电器才能勉强保证安全。同时，电池发热问题依然会很明显。

目前，国内市场上的主流中档充电器的充电电流基本是固定的，只有极少数高端产品才有手动设定充电电流的功能，所以用户选择余地并不多。在试验中人们发现，在快速充电中采用脉冲电流充电并夹有放电负脉冲的脉冲去极化充电，这种模式比单纯的恒流充电电池发热量要明显减少，这也意味着更高的充电效率（减少充电电能量转换为热能的浪费量）和安全性。同时，由于工作模式改变，充电器调整管功耗大为减少（对应的调整管的发热量也减少）。脉冲电流充电的正负脉冲幅度和占空比控制形成了不同的充电算法，如何优化充电算法使充电器达到最佳的充电效率成为充电器生产厂家的技术核心之一。这也是同等充电速率的不同充电器充电时电池发热量不同的主要原因。外观雷同的充电器可能充电算法完全不同，要真实了解充电算法，需要借助示波器等专业测试仪器，普通用户最直观的感受就是充电以及结束时电池是否过热。

充电器及电池在快速充电时的发热问题一直是充电器设计者关注的问题。理论上，在同等技术条件下充电电流越大，电池发热也越厉害。充电电流越大，总体功耗也越大，对电源部分的功率输出要求也越高，同时通过线路板上的电流也越大。充电器的发热焦点主要在交直流变换单元、直流稳压电路和充电电池本身。电源部分现在主要采用开关电源技术，开关电源的设计容量和元器件应用直接关系到工作时的发热量和成本。将电源部分分离到充电器之外是一个比较理想的设计，这样既能有效分离两大热源，又可以相对隔离高压市电，增加充电器的安全性，同时开关电源的空间不再受充电器外壳的限制，可以有更理想的散热和布局设计，此外，对充电器的故障排查和快速修理也有很多好处。

对于充电器生产企业来说，外置电源部分还可以请专业的电源工厂代工，使电源部分更有专业保证，同时也更容易获得安规认证。很多国外著名品牌的大功率快速充电器都采用电源分离外置的结构，充电器主机不变，只要换用不同规格的电源就能适合不同国家地区对电压、插头、安规的要求。使用外置电源唯一的缺点是产品的总体成本会有所上升。

充电器内部低压线路的发热问题本身并不十分严重，只要有适当的空间和散热设计还是比较容易解决的。电池充电时的发热问题首先要靠充电算法加以控制，其次电池安装位置要具备适宜的通风散热自然条件。一些体积较大的充电器电池位置比较分开，底部留有通风槽的设计当然散热条件比较好。有的充电器采用风扇加强散热设计，虽然散热效率提高很多，但风扇工作噪声和风扇寿命需要有效控制。此外，电池在充电时的发热量与电池本身的内阻有关。有些廉价劣质电池和老化电池，由于内阻偏大，所以大电流充电时要比

优质电池充电时的发热量大得多。我们可以用仪器测试一下新电池的内阻，通常可以在十几到二十几毫欧姆的水平，一些老化的电池和杂牌电池则可达到60～110mΩ。实际情况，有些电池虚标容量，使得实际充电电流容量比要比标称值高很多，所以发热也非常明显。

“充满自停”自动判断充电结束是现代主流充电器的基本要求，对电池充电状态的判断也一直是充电器设计的核心技术焦点。由于镍镉、镍氢电池的固有充放电特性，所以通过简单测量即时电压只能判断电池放电耗用情况，不能像锂电池那样，仅凭达到固定电压来判断电池充电饱和状况。

目前主流的家用镍镉、镍氢电池充电器饱和判断法采用监控电压体制，最常用的就是大家常听到的-ΔV法（电压负增量法）来进行，高阶的产品附加0ΔV 法（电压零增量法）。采用0ΔV 法在软件上不难实现，不过对充电器硬件上测量电压的分辨率有较高的要求，会直接导致成本增加，所以市场上有不少产品，虽然号称采用0ΔV和-ΔV判别技术，实际上主要还是靠-ΔV来判断。

理想的0ΔV检测要求有较高的电压检测精度，限于成本，普通家用级充电器的电压检测精度不可能达到专业高精度电压表的水平。及时准确地判断充电结束有利于电池充电末期的温度控制。如果出现漏判，没有及时停止充电，电池就会处于过充状态，电池温度迅速上升，在大电流下长时间过充很容易造成危险。所以，很多充电器除了设计-ΔV判断外，还有dT/dt（温度增量法）、dV/dt、Tmax(最高温度法)、t.Max（最长充电时间保护法）附加判断法，以防-ΔV漏判。

由于不同厂家、不同衰老程度、不同品质电池的放电曲线差异很大，包括-ΔV特征幅度也大有不同，镍氢电池在充电结束时电压下降比镍镉电池小，需要更精密的检测。此外，一些久置不用的电池或者异常放电的电池会出现的“双峰效应”都会干扰-ΔV的检测。对-ΔV的电压检测幅度，不同厂家有不同的标准，也关系到产品误判和漏判率。由此可见，要设计一部完全适应所有特性电池的充电器的确很难，很多产品应用了一些保守的做法以策安全。

关于产品-ΔV和0ΔV判断的准确性需要有仪器进行试验，同时与使用的充电电池也有很大关系，有些大厂家在充电器开发的时候会购买市面上各种档次和品牌的电池样品，进行不同程度的老化来做试验。在他们的试验室里，积存几百节充电电池并不是新鲜事。他们通过反复试验，得出数据，对控制软件加以改进，以增加充电器对各种电池的兼容性。一般的用户可以通过对比充电末期电池温度升高的程度来大致判断充满自停的准确性，如果电池温度明显升高，并几乎烫手，说明电池很有可能已经过充了。

此外，作为消费类电子产品，充电器应该符合相关的安规认证和EMC电磁兼容认证，一些小厂和山寨充电器在这方面比较欠缺。虽然这些认证对充电特性几乎不发生直接关系，但与产品的安全性能和对周围电子产品可能造成的电磁干扰息息相关。

外功篇

充电器的外壳是充电器的外衣，除了视觉审美效果外，科学设计的充电器外壳从外形到材料都有一定的要求。外形上，充电器外壳决定了整机的体积，也决定了电池安装的位置，通常大体积的产品散热比较好，电池槽之间可以有足够的空间，对拆装电池和自然散热都有好处。不过，国内很多充电器款式多受日式充电器精巧外形的影响，多采用小型紧凑型设计。

充电器温度传感器的灵敏性也与外壳设计有关。理想状态下，温度传感器最好直接贴近被测物体，其次是通过热的良导体贴近被测物体。理想的外壳设计要预留温度传感器与电池接触的位置，有些外壳设计将温敏电阻或二极管（用于测温）隔了塑料外壳层再靠近电池，其灵敏性必将大打折扣。一些采用dT/dt机制为主判断停充的镍氢电池快速充电器对电池温度的检测尤为重要。外壳应该考虑到有利于内部线路板和发热元器件的散热，通常在需要散热的部位设计栅条状散热口，以利空气流通。一般家用的充电器外壳都采用塑料材料，塑料虽然具有很好的绝缘性，但同样是热的不良导体，密封的外壳不利于散热，利用塑料机壳散热，效果也非常有限。有些设计不周的机壳经过长期使用，竟然会被内部元件的高温烤得变形，这都是隐患所在。

虽然充电器多是塑料外壳，但从材料上也有要求。根据安规，充电器外壳和印制板及元器件所用的材料应能使引燃危险和火焰蔓延减小到最低限度。优质的外壳应采用阻燃、耐高温、抗振、抗摔的材料，不是普通的塑料，而是多采用ABS/PC和阻燃材料，且有一定的壁厚，保证产品的结构强度。如果再考虑模具的精度，相似的外壳的品质和成本也会存在很大的差异。好的线路板也可以用玻璃纤维板。好的工业设计不但是产品性能的基础保障，同时还能赢得消费者的好感。很多消费者都相信秀外慧中，产品的包装和外观会给人留下深刻的第一印象。

充电器的电极接触片虽然不起眼，但属于金工部件，其材料选用和工艺以及形状设计将直接影响充电器拆装电池的手感以及电池与充电器的良好接触。比较优质的接触片为磷铜材质并作表面处理。由于金工处理和电子线路属于两个领域，往往一些专注电子线路的小厂对此不够重视，导致一些产品负极簧片偏软，弹力不足，时间久了就会增加接触电阻。这在一些专业厂家生产和提供OEM的产品中处理得比较

好，可谓术业有专攻，小小充电器也涉及多项专业学问。

充电器的用户界面是向用户反馈信息的窗口，包括反馈充电器的工作状态、测量数据等。最简单的界面是通过变色LED发光二极管指示“充电中/充电完成”状态。笔者认为，每个通道都应该有独立的指示灯，如果哪个充电槽电池没有装好，通过指示灯，就能方便地判断出来。显示单元做得高档一点的现在大多采用图标液晶屏显示，除了指示充电器工作状态外，在充电过程中还可以简易显示充电的过程，给人动态显示的感觉。其实这类带液晶显示的方式是一种很讨巧的做法，很多非专业用户都会认为带液晶屏的充电器上了一个档次，宁愿为此多花些钱，其实这类液晶显示的实质性作用不大。再高一档的显示屏就能显示实时充电数据了，包括充放电电量、充电电压、充电电流、充电时间等数据。这些数据（尤其是估算电量）虽然准确性不一定很高，但依然很有实用的参考价值，一些大幅度虚标电池容量的充电电池会立刻无所遁形，同时用户也能了解手头充电电池的实际性能状况，对一些已经老化的电池及时尝试修复或者选择更新。再进一步为充电器提供数据输出功能，将原始测量数据传输给电脑再利用电脑软件扩展数据应用，如形成充放电曲线，估算内阻等。很多用户都以充电器显示界面来作为判断充电器性能的主要依据。虽然大多数在显示上下了功夫的充电器在基础充电性能上也不会差到哪里去，但从技术角度看，有没有配置液晶屏与充电器的基本充电性能优劣没有直接必然的关系，就算有电量检测也只是一种附加功能而已。不少充电性能优秀的充电器只采用最简单的LED发光管指示，比如大家公认优秀品质的原装三洋充电器。

附加功能篇

电量检测功能可以了解电池的实际容量，是一项非常吸引眼球的功能，在市场上已经成为很多消费者心目中高档充电器的标志。电量检测一般通过充电器上的液晶屏显

紧凑型设计的充电器

充电器显示界面

示出来，估算有两种形式：一种是充电方式估算，一种是放电计算。放电计算是比较实际的反映电池容量的测试方法，理论上将放电电流乘以放电时间就能得出电池的实际容量。实际上，不同的充电器考虑到损耗等一些外部原因会加入修正系数，这也使得不同品牌的充电器显示的数据存在一定差异。通过充电器放电计算电池容量与专业的放电计量器相比还是有一定差距的，正规的电池计量除了仪器本身的检测精度较高外，在操作规程上对放电倍率、环境温度/湿度、截止电压、产品一致性都有详细的规定。充电器的电量检测功能只能作为一个大概的参考，与电池标称的容量相差不太多就行了。用此功能来判定大幅度虚标电量的电池和已经明显老化的电池还是很方便的。通常具有电量显示功能的充电器也具有充电电量估算功能，这种估算准确性远没有放电计算那么准确，只有参考意义，因为在充电时并不是所有的电能都能转化为化学能存储到电池中，其中还有相当部分转换为热能消耗掉。充电电量估算的优点是不需要占用额外的完整放电循环时间，可以在充电中“附带”提供给用户数据。实际证明，这种估算数据也具有一定的参考意义，如果用户要得到比较准确的电池容量信息，应该采用放电计算。

放电功能对镍氢、镍镉电池的维护很重要，是一项很实用的功能，一些中高档充电器都会加入“放电-刷新充电”功能。通过完全放电可以在一定程度上消除电池的记忆效应，恢复原始容量。有些充电器所具备的电池修复/激活功能也是基于循环充放电来进行的。虽然用户也可以通过用电器来达到放电的目的，不过通常一些比较高级的用电器，如数码相机之类，停止放电的电压会设定得比较高，当用电器认为电池没有电的时候，其实电池内还有一定量的残余，而且大多数用电器都是电池串联供电的，由于电池间天生存在的容量差异，串联放电势必造成对部分电池放电不彻底。相对而言，利用充电器对单节电池进行放电就理想得多。大部分具备放电功能的充电器都具备放电完成后自动转充电的功能，也叫刷新充电。对用户来说，先放电后充电的操作与单纯充电相比，只是多花费一点时间而已。放电也不是每次充电必

备的操作，一般对于正常的电池，每充电10～20次，加入一次放电操作即可。当然，时间充裕的话，放电频率高点也没有问题。

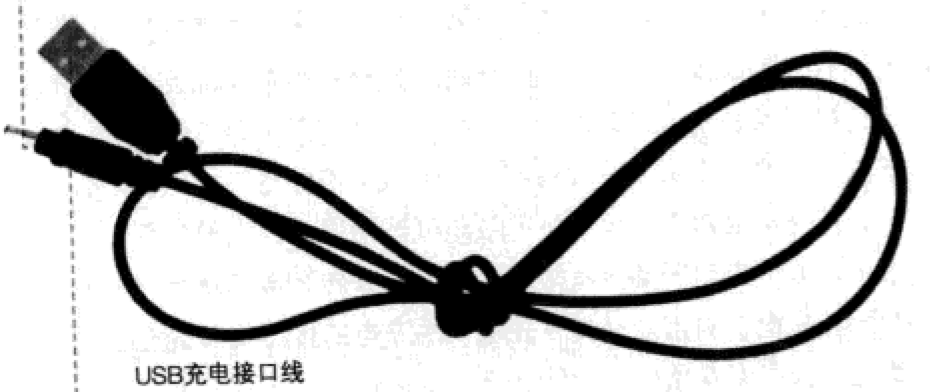
有的高级充电器具备电池修复功能/激活。所谓修复功能就是通过循环充放电来消除电池的记忆效应，以达到恢复电池容量的目的。除了充放电循环外，有的产品还使用频率较高的脉冲电流来冲击电池。充电器的电池修复功能并不是万能的，通常对存放时间较久的电池和初期使用不当的电池有较好的修复效果，对正常电池的定期维护也有一定作用，对于已经严重老化和劣质电池的修复效果非常有限。

充电器与电脑连接是现在很时髦的功能，充电器通过RS232或者USB接口与电脑连接，通过充电器向电脑传送充放电数据，利用电脑软件的记录功能在电脑上实现充放电曲线图的显示，这以往只有在很专业的电池分析仪上才有的功能，特别适合业余玩家的胃口。

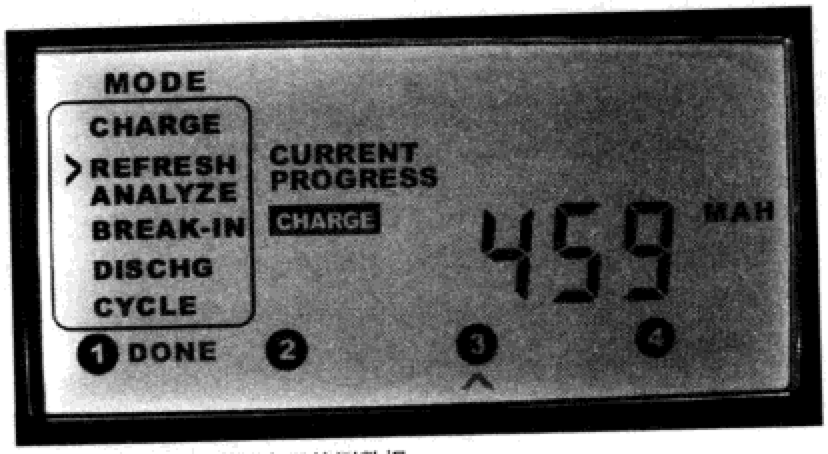
USB供电接口是个简单实用的功能，利用充电器的电源增加一个5V稳压功能就能提供标准USB供电输出，现在很多数码设备，包括手机、MP3等，都可以在电脑上利用USB接口充电。

充电器常见问题

用户发现有的充电器会“拒充”一些电池，尤其是对那些劣质电池和老化电池，被用户称为“挑电池”，这个问题主要出现在比较高档的充电器上，一些廉价充电器到是对电池来者不拒。电池的老化是必然的，老化的电池不但容量下降而且内阻会增加，用户最直接的感受就是“充不进电”“一充就满一放就光”“放不出大电流”，同样一些劣质电池由于工艺问题本身内阻就大，再加上更容易老化。高内阻是快速充电的大忌，大电流充电时内阻高的电池发热严重，当热量过高时容易发生危险，同时内阻高的电池很多-ΔV曲线也不工整，容易误判，所以很多比较高级的充电器在充电前会对电池的内阻进行检测，发现内阻过大后就停止充电以策安全。有的充电器在充电前还会检测电池的端电压，以区别已经充满的电池和不能充电的一次性电池，有时



USB充电接口线



某充电器液晶屏显示的电量检测数据

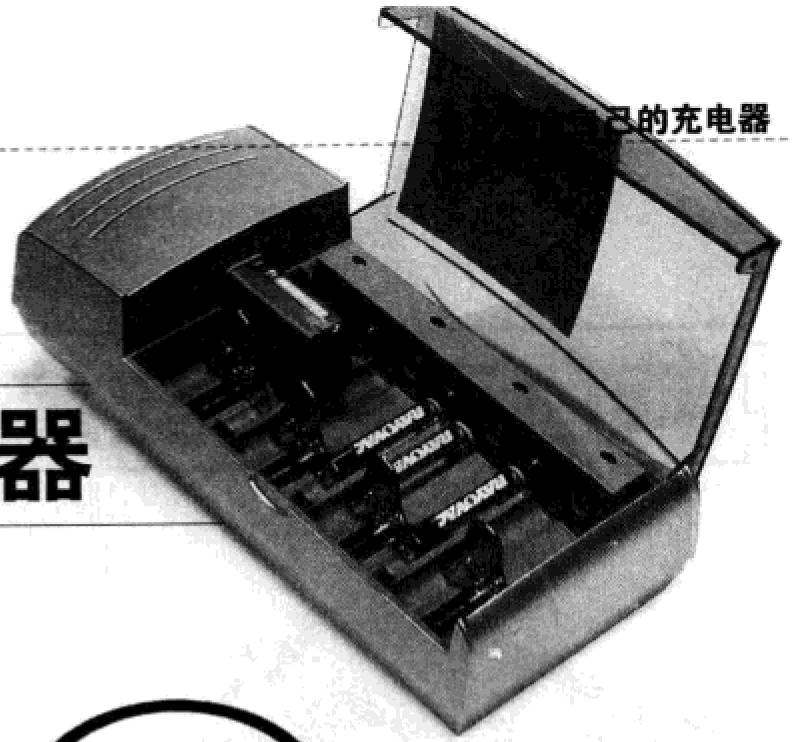
充电电池端电压偏高也造成误判拒绝充电。如果你认为手头电池没有问题可以尝试先将电池放电，然后再上充电器充电。对于一些低端的充电器，由于事前检测不完善或者不严格，自然对所有电池来者不拒，甚至放上一次性碱性电池也照充不误。

快充好还是慢充好？一般认为科学的慢充更有利于电池达到最大化寿命，充电时也更安全。不过由于传统的10小时以上慢充效率太低，所以现在推荐3~6小时的准慢充充电速度，同时充电电流需要采用脉动方式，电池充电温度上升可以得到很好的控制，对电池品质的要求很低。1~2小时的快速充电器充电速度比较快，技术上也比较成熟，适合急性子的朋友或者确实需要短时间内完成充电的朋友考虑，对电池品质要求也不高。至于充电在1小时以内的充电器一般慎选，或者作为应急备用之选。其实快充、慢充是相对电池而言的，因为普通充电器的电流基本不变（或者只有两挡），变化的是不同充电电池的容量。一般以电池标称容量除以充电电流来估算充电时间。有个好消息是目前很多主流充电器具备快慢两挡充电方式，以著名的三洋MR57S充电器为例，用它充2节AA电池时，可以用快充挡，充电电流为1275mA，充4节AA电池时为慢充档充电电流为565mA。如果充现在主流的2000mAh的电池大致需要105分钟和230分钟，正好符合推荐快充和准慢充的要求。如果不急着用，电池还是推荐使用准慢充为好。

有的朋友发现用有些老款充电器来充新版的高容量电池会有充不足的问题，但充较小容量的电池则没有问题。这是因为这些充电器在设计时有个最大时间限制，到了最大连续工作时间，将不管是否有检测到电池饱和信号都停止工作，这也是充电器的最后防线，以防-ΔV漏检。充电器在设计时可能还没有现在如此高容量电池如2500mAh、2700mAh之类，所以最大充电限制设定得比较低。如果有朋友手头有这类充电器，可以在充电一小时左右将电池取下再安装上，让充电器误以为是新的充电进程从而重新计时，中断充电对电池在充满时的-ΔV标志曲线判断没有影响。

◎聆听

选择适合自己的充电器



昂贵的充电器是否值得购买是困扰很多电子爱好者的问题，一部高档一些的充电器少则百余元，多则三五百元，这些资金完全可以买好多套电池了。确实，与其把大量的时间、精力和电费花在电池的充放电维护上，还不如适时买套新电池。再高级的充电器也不能使充电电池长命百岁，更不可能起死回生（指彻底损坏的电池），只是尽量使电池达到理想寿命和有限改善电池状态而已。充电电池买来是为我们服务的，我们不能因为整天为电池充放电而操心，成为电池的奴隶，当然如果把充放电当作业余娱乐休闲就是另外一回事了。

从实用的角度，大多数电池用户不需要购买十分昂贵的充电器，一般45～90元的三洋NC-M54（NC-MQR01）和NC-M55(NC-MQR02)已经很实用了。高一些要求的朋友可以考虑百余元带放电功能的三洋NC-MR57s（NC-MQR03N）充电器。对于喜欢把玩电池，把电池充放电作为一种乐趣或者喜欢寻根问源的朋友，可以考虑选择具备容量检测的充电器，如国产的慧眼、明智之类，价格也在130～168元水平；喜欢进口货的朋友可以考虑La Crosse BC700；对于发烧友，价格在500元左右的MAHA MH-C9000则是目前不二之选。更高档的可以考虑模型充电器，不过一般模型充电器为多节串联电池组充电设计的，通常不支持多节AA/AAA电池同时并行独立充电（可以单节充电），也没有现成的电池安装槽，为充单节AA/AAA电池，需要自己DIY更多的适配座。

有4个充电槽的充电器

3C认证标志　　CE认证标志

选购要点

首先，要根据自己使用充电电池的型号和数量来选择充电器的外形结构（即充电器电池槽位的数量）。目前，市面上常见的充电器支持同时为4节AA电池（5号电池）充电，但充AAA电池（7号电池）的数量有2节和4节之分。4个充电槽最好都是独立运行的，也就是说充1节电池也行，充4节电池也行。

其次，根据使用充电电池的档次来选择充电器的档次。并不是越贵越高档的充电器就一定适合所有电池，一些高档的充电器虽然功能强大，但对电池的要求也比较高，性能差些的电池经常“拒充”，用“工包电池”和廉价电池的用户要选“兼容性好的”充电器。通常充电速度越快的充电器越挑电池。

再次，充电器是国货还是洋品牌，主要看个人喜欢和预算高低，品质方面，著名的洋品牌确实有一定优势，其实很多洋品牌充电器都是国内专业厂家代工制造的。国内市场上口碑比较好的充电器洋品牌有三洋、索尼、MAHA、万胜。

非专业用户如何判断充电器的品质呢？除了看做工外，一般可以通过充电器的工作表现来大致判断。连续全功率工作一段时间后，充电器的电源部分不应过热，充电时电池本身温度不应过高（一般快充模式电池摸上去有温温的感觉是正常的，很烫手就不好了），充电结束时电池不应过热。需要注意的是，这里说到的电池表面温度的变化应该参考性能良好的电池，不能拿劣质或者老化的电池来测试，否则很容易“冤枉”充电器的性能。

最后，正规的充电器应该有通过安规认证的标志，以确保电子产品的基本安全性能。

特色充电器全接触

◎聆听

MAHA MH-C9000

这是目前国内公认的发烧级充电器之一，由美国MAHA公司出品、中国台湾制造。MAHA公司专业设计各种档次的自动充电器，在业界颇有名气，属于专业公司。美国设计的MH-C9000一改日系充电器的紧凑设计，采用大机身和外置电源，电池间空间很大，所以充电时温度控制很好。MH-C9000充电器具有很多手动参数设定和工作模式选择功能，包括可以多级设定充电放电电流、循环次数以及具备充电、修复与分析、活化（刷新）、放电、循环五大模式。对充电电池有一定专业维护知识的用户可以对不同容量和状态的电池定制个性化的维护方案。

MH-C9000充电器最吸引用户眼球的就是那块白色背光的大液晶显示屏。尽管没有采用点阵屏且仅有4位8字笔画数字显示，其他都是固定图标文字显示，但作为家用充电器已经很豪华了。显示屏可以显示设置状态和参数，在充放电时可以显示容量、电压、电流、时间等信息。MH-C9000支持四路充电槽独立工作，可以充4节AA或AAA电池，但由于显示区液晶限制，所以充电时数据显示是按不同电池槽位、不同功能依次显示（也就是说一屏只能显示一个电池槽的一项数据）。MH-C9000并不具有与电脑互联的扩展功能。MH-C9000在充电前会对电池进行测试，对内阻大的电池会拒充，尤其是AAA电池挡会更为明显。总的来说，MH-C9000是一款很不错的高级充电器，但是面对国内500元销售价格，估计只有那些充电发烧友才会去考虑。MH-C9000的检测功能虽然不错，但与仪器级的正规电池分析仪相比，无论是功能还是精度，都有很大的区别，毕竟MH-C9000是定位于高端家用的充电器。

La Crosse BC700

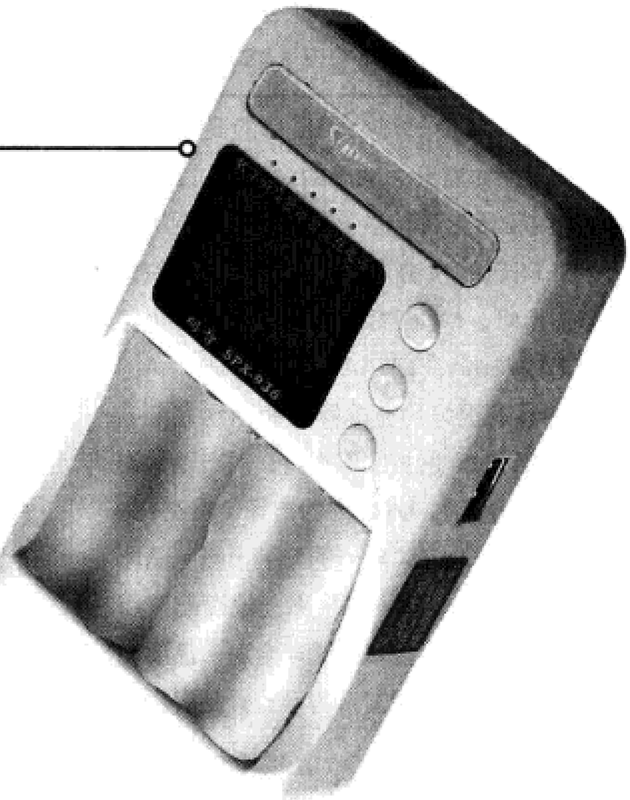
La Crosse这个品牌是一家美国网上公司，主力推出各种档次的家用无线气象站和准专业气象站以及投影钟，BC700则是他们品牌的自动充电器产品。BC700采用外置电源和小机身设计，搭配有字符和数据液晶显示屏，可以同时显示4个电池槽位的电压、电流、时间、容量参数（依次显示）和工作状态，可谓一目了然。BC700的4个电池槽位可以独立工作，支持AA和AAA电池。BC700具备充电、放电、循环修复（刷新）、测试四大模式，充电电流可以有200mA、500mA、700mA多挡手动设定，放电电流也有100mA、250mA、350mA、500mA多挡手动设定。BC700操作起来比较顺手，工作模式选择、显示选择、电流选择都有专用设定键，对应每个槽位的选定也有对应按键。BC700网上国外的售价在30美元左右，国内售价在280元左右，具备了高端充电器的所有特性（除了不能连接电脑），是预算不多的发烧玩家的首选。La Crosse还有一款更高档一点的BC9009，与BC700相比，功能类似只是提高了最高充电电流，并附带了电池和携带包，但价格提高很多，所以性价比不及BC700。本来很多买家看中BC700的是其国外品牌（依然是Made in China）和功能性价比。

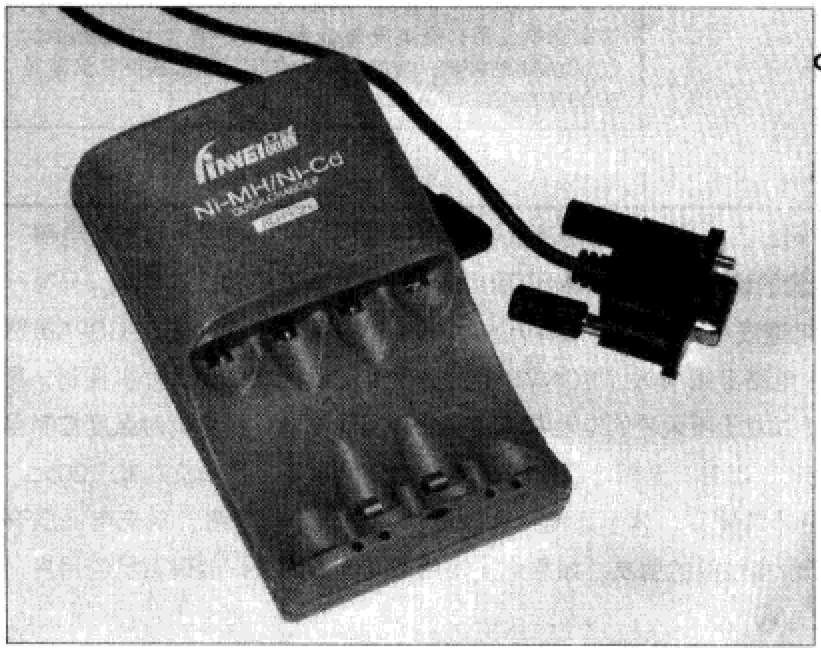
慧眼充电器

慧眼充电器是由国内厂家自行生产的一款充电器，产品最大的特点就是具备电池容量检测功能和放电功能，上市已经有好几年，产品比较稳定。慧眼充电器采用内置一体化电源设计，可充4节AA电池或AAA电池，支持放电功能，每个电池槽有独立液晶显示区域。慧眼充电器提供充电、放电、循环修复（刷新）三大模式，充放电电流不可自己设定。不过充电器会按照充电电池的数量自动做出调整，当充2节AA电池时，电流会达到1060mA，当充4节AA电池时，电流会降到535mA，放电电流恒定为550mA。慧眼充电器通过条状液晶显示，同时显示4个电池槽的数据，通过显示项目按键可以选择显示容量、电流、电压、时间四大参数，使用和操作都非常方便。慧眼充电器目前市场售价在130元左右，在具备电量检测的充电器中算比较低的，结合慧眼充电器提供的功能，该产品具有相当高的性价比。

明智SPX-936D

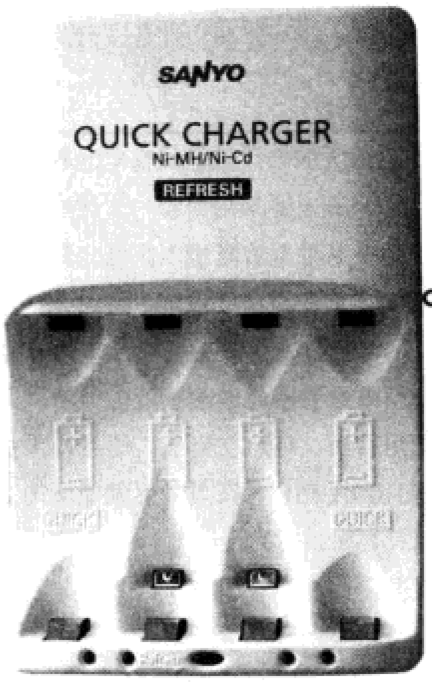
明智SPX-936是一款近年来新上市的智能充电器，产品有B型、C型、D型之分，D型为高端版，功能最为丰富，均为内置电源设计，可充4节AA电池或AAA电池，支持放电功能，每个电池槽有独立液晶显示区域。SPX-936D通过液晶屏提供电压、电流、容量、温度、时间、内阻六大数据的显示。在充电模式上提供智能快充、定时充、放电、刷新四种模式，其中，“定时充”模式适合那些内阻已经很大的老化电池，增强了充电器的兼容性。SPX-936D提供可手动设定的10挡可调充电电流，适合不同充电的需要。SPX-936D还额外提供标准USB输出口，用于扩展供电计量。SPX-936D具备数据输出和电脑联机功能，可以通过电脑软件扩展应用，包括显示电池的充放电曲线图。SPX-936D有故障代码指示功能，通过故障代码提示异常状况，包括电压过高、内阻过大、温度过高、容量超限。SPX-936D的功能目前在国产充电器中是最多的，市场价格为168元。虽然在国货中价格属于比较高的，但优质优价体现了产品的价值，与国外同类产品相比已经算很便宜的了。





品威618+（Y5+）

这是国内生产的一款高性能充电器。从外观上看，品威618+像一个普通的内置电源日式充电器，可充4节AA电池或2节AAA电池，支持放电功能，每个电池槽有独立状态指示灯。品威618+的绝技是它具有RS232数据功能，配合电脑软件就成为一款功能强大的充电器兼电池分析仪，在电脑上可以看到当前充电/放电电池的电压、容量、温度、时间，并可以估算出电池内阻，通过电脑可以得到电池的充电/放电曲线。品威618+的检测精度比较高，充电效果也很好。Y5+是品威618+早期小批量生产时的代号。品威618+在我国的充电器历史上属于一款经典的产品，遗憾的是，该产品前几年已经停产，少量存货已成绝版。

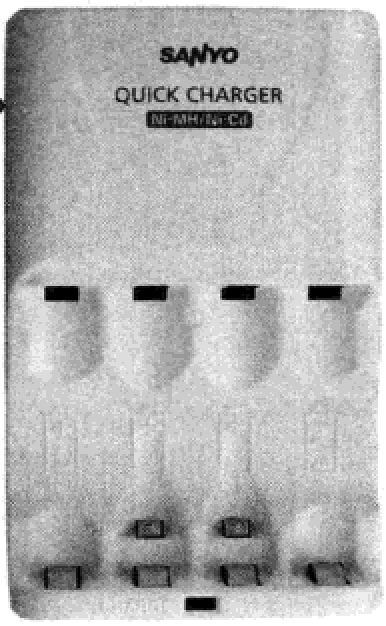


三洋NC-MQR03（MR57S）

这是一款由三洋公司出品的高性能充电器，采用内置开关电源的设计，可充4节AA电池或2节AAA电池，支持放电刷新功能（有REFRESH按键），每个电池槽有独立状态指示灯。MR57S充电速度为2节AA电池快充1275mA，4节AA电池充电565mA。MR57S具有很好的充电算法和脉动充电电流，充电时对温度控制得很好，对电池的饱和判断也很准确。MR57S的市场价格在150元左右，还有与三洋电池的套装出售。总体而言，MR57S虽然外观平平，没有配置引人注目的液晶屏，但基本功能全面，品质优良，使用简单，无需复杂的设置，是实用型的高级充电器。

三洋NC-MQR02（M55）

这是一款由三洋公司出品的高性能充电器，采用内置开关电源的设计，可充4节AA电池或2节AAA电池，没有放电功能，整机提供一个充电状态指示灯。M55充电速度为2节AA电池快充1275mA，4节AA电池充电565mA，与新版的MR57S相当。M55采用脉动充电技术，有效地降低了充电时电池温升的问题，并采用主流的-ΔV判断电池饱和状态，及时停止充电。M55的市场价格在90元左右，以三洋的金字招牌和M55自身不俗的性能，90元的价格，普通用户还是比较容易接受的，属于实惠之选。



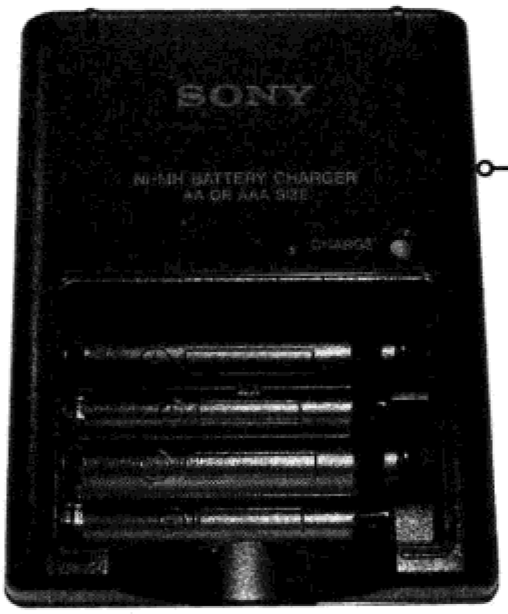
SONY BCG-34HRMF

这是一款由SONY公司出品的高性能充电器，采用内置开关电源的设计，可充4节AA或AAA电池，支持放电刷新功能（有REFRESH按键），BCG-34HRMF配置有液晶显示屏幕，通过电池图标和字符来指示充电器工作状态和每个电池槽的充电进程。BCG-34HRMF充电速度为2节AA电池快充1050mA，4节AA电池充电525mA。BCG-34HRMF充电器的市场价格在150元左右，主要销售方式是与4节AA索尼2700mAh电池搭配的套装，价格在200元左右。SONY品牌、液晶显示、放电功能是该充电器的卖点，从价格和功能上都属于高级充电器。

小知识

-ΔV法（电压负增量法）
持续监控充电电池电压，当镍氢电池充到基本饱和时，其端电压会出现10mV左右的电压回落量（镍镉电池电压回落更明显），充电器依据这个电压回落特征作为电池已经基本充电饱和的标志，继而结束充电或转换到涓流充电模式。

什么是1C、0.5C充电速率（倍率）？
“C”表示电池容量，电池容量乘以充（放）电系数得出充电（放电）的电流。例如2000mAh的AA电池以0.5C倍率充电，那么充电电流就是2000×0.5=1000mA。2000mAh的AA电池以1C倍率放电，那么放电电流就是2000×1=2000mA。



SONY BC-CS2A

这是一款由SONY公司出品、原来搭配在使用AA电池的数码相机中作为附件的充电器。该充电器采用内置开关电源的设计，可充2节AA电池或AAA电池，指示机构比较简单，只有一个指示灯。BC-CS2A充电速度中等，充2000mAh的AA电池大约耗时5小时。BC-CS2A虽然外观简单其貌不扬,但内部电路上乘,体现了SONY产品的一贯高品质。它采用单片机控制，具有-ΔV判断电池饱和，所以对于不太差的电池都能高品质地实现充电，且充电时温度控制得很好。市场上有些“工包货”出售，全新产品价格在30~40元的水平，二手货则低于20元，由于渠道的特殊性，价格非常便宜，属于超值，比较适合普通电子爱好者、对充电品质有一定要求的人士和追求低价高性能的朋友。如果你是使用AA电池的SONY数码相机的用户，千万不要埋没了这个宝贝。

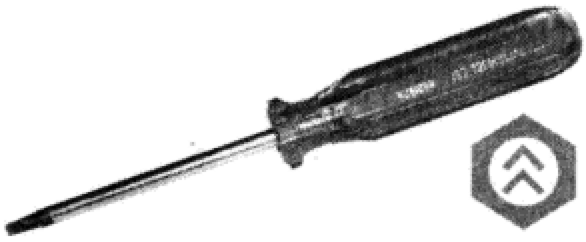
走进螺丝刀的世界

◎聆听

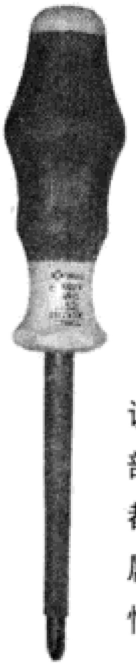
螺丝刀是旋动螺丝的工具，也被称为“起子”、“改锥”，是电子爱好者在拆装电子产品外壳中用到的最基本工具。一般中小号的廉价螺丝刀市场上花一两元就能买到，而一些高档螺丝刀却价值近百元，有些特殊功能的螺丝刀价值千元，这几者间有什么实质的差别呢，高档螺丝刀有何特殊之处？本文中，我们一起走进螺丝刀的世界。

形形色色的螺丝刀

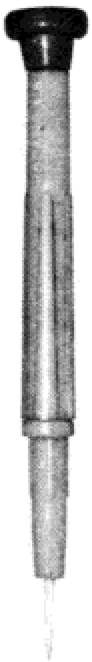
常见的螺丝刀有普通单支螺丝刀、高压绝缘螺丝刀、组合螺丝刀、陶瓷螺丝刀、精密螺丝刀、扭力螺丝刀、棘轮螺丝刀、电动螺丝刀、风动螺丝刀以及一些家用的多功能组合螺丝刀。



单支螺丝刀结构简单，由刀头、刀杆、手柄3个最基本的部分构成，为固定一体化结构，整体性好，是最基本型的螺丝刀。



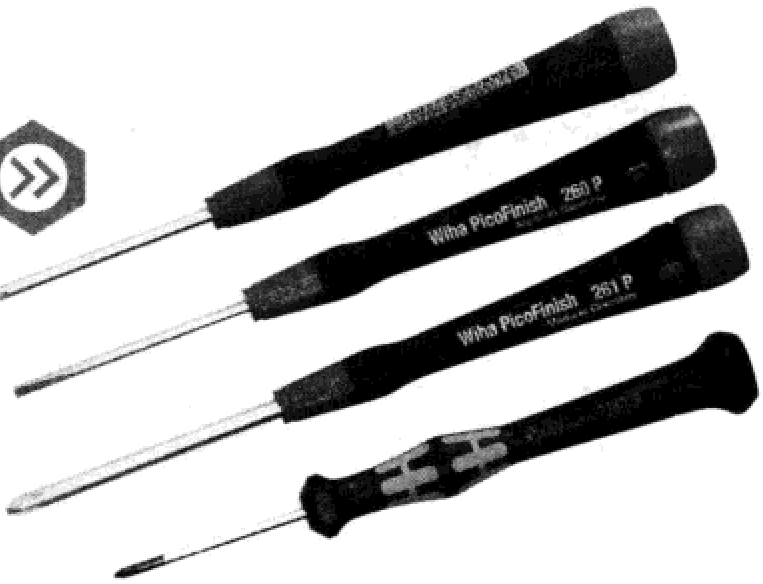
高压绝缘螺丝刀是为在高压操作场合特别设计的螺丝刀。通常，高压绝缘螺丝刀除了一小部分刀头为外露金属外，整个螺丝的刀杆和刀柄都被绝缘材料所包裹，这样可以有效防止带电金属与外界接触和高压电弧，提高带电操作的安全性。一般的高压绝缘螺丝刀耐压标称为1000V。

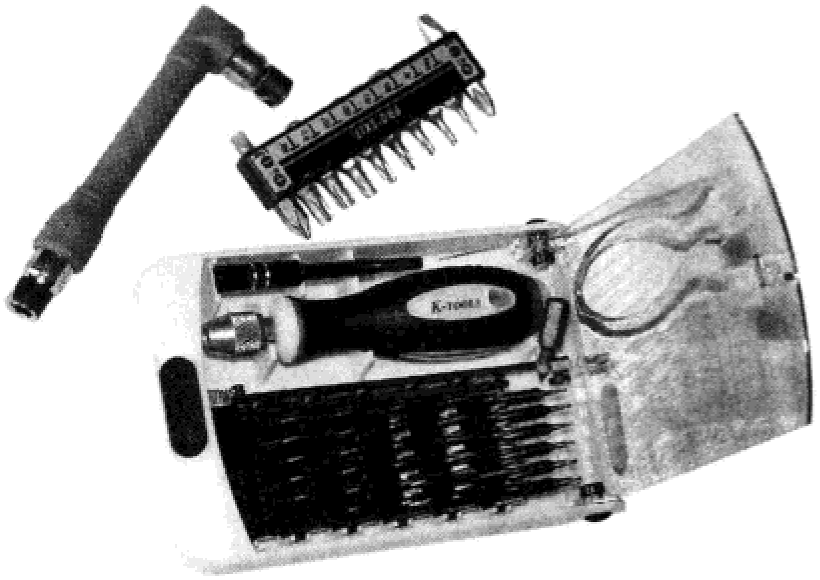


陶瓷螺丝刀属于特种用途的螺丝刀，套头和刀身都采用陶瓷材料替代金属材料，目的是达到“无感”的特性，一般用于无线电设备的调试。陶瓷螺丝刀刀头强度要远胜于尼龙材料，但陶瓷材质比较脆，不适合大扭力工作场合，所以不能替代常用松紧螺丝的金属螺丝刀。

电动螺丝刀是通过电力提供旋转动力的自动螺丝刀，可以节省操作人员上螺丝的工作强度，同时由于电动机旋转速度远高于手动旋动螺丝刀的速度，所以也提高了上螺丝的效率。电动螺丝刀根据电源的不同可分为电池供电型和市电供电型，高档的螺丝刀还提供力矩和速度的调节。电动螺丝刀往往是多功能的，可以更换不同的刀头，一则因为刀头是易耗品，另一方面可适合不同的需要，有的产品甚至可以通过更换配套的钻头成为小型电钻使用。

精密螺丝刀一般理解为刀头较小号的螺丝刀，早期多用于钟表眼镜等精密场合，所以也有“钟表螺丝刀”的别称，现在也大量应用于小型电子产品中，如计算机、手机、MP3等。不要小看这类看似不起眼的小型产品，高品质的精密螺丝刀的制造要求远高于普通中型螺丝刀，微小的刀头需要确保加工精度，同时细小的刀杆和小刀头依然要求保持相当的硬度和强度，这都对材料、加工、热处理提出了极高的要求。

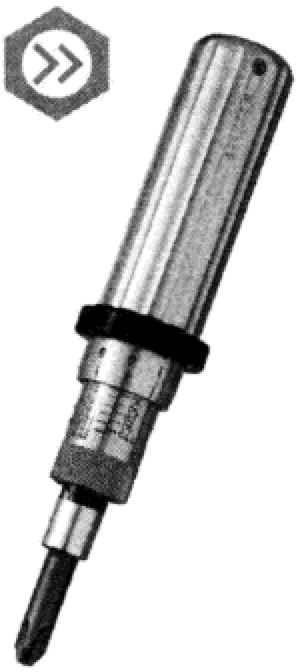


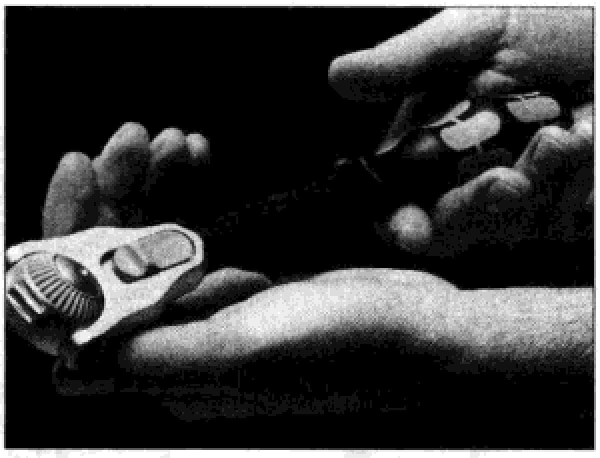


组合型螺丝刀通常是一个手柄支持更换多种规格的刀头，以适合不同规格螺丝的需要。有些可换刀头的螺丝刀会配上几十种甚至上百种不同规格的刀头，如果每个不同规格刀头都做成独立的螺丝刀，那么体积和成本会增加很多，而且不便于携带。

扭力螺丝刀一般用于工业生产线，通过特殊的结构使螺丝刀具有特定的扭力，超过预定扭力，螺丝刀的内部离合器就会松脱，自动形成空转，以便控制旋上的螺丝具有适当的松紧程度。

扭力螺丝刀分力矩固定和可调两大类，有些高档的电动螺丝刀也提供了力矩设定功能，以防螺丝过度旋紧，但精确程度没有专用的扭力螺丝刀高。优质的扭力螺丝刀价格比较昂贵，上千元一把不是新鲜事。由于扭力螺丝刀刀身属于高精密高价值工具，而螺丝刀刀头是易损部件，所以扭力螺丝刀都是可换刀头的设计。





棘轮螺丝刀在标准螺丝刀上增加了一个棘轮机构，该机构可以让螺丝刀的刀柄在正转或反转时呈无效空转状态，这样操作者就不需要频繁恢复起始位置，操作起来有点像给手表上发条的感觉，以此提高工作效率减低操作强度。棘轮螺丝一般为工业使用。

家用的多功能组合螺丝刀有点像组合螺丝刀，是专门为家庭用户设计的多功能工具，有的还结合了手电等额外功能，特点也是一个手柄支持多种常用规格的刀头，但刀头规格没有专业工具那么多而已，品质一般，同时价格也控制得比较便宜。

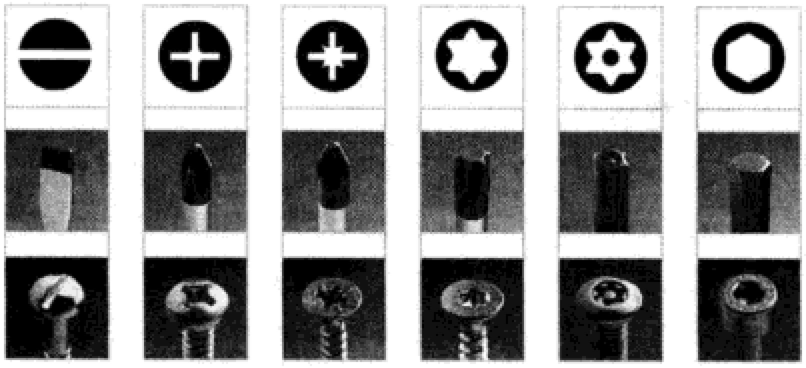
风动螺丝刀是通过压力气体提供旋转动力的自动螺丝刀，可以节省操作人员上螺丝的工作强度，同时由于风动机旋转速度也远高于手动旋动螺丝刀的速度，所以也提高了上螺丝的效率。风动螺丝刀从结构和原理上相对电动螺丝刀有一定优势，电动螺丝刀在堵转时对普通电机不利，风动结构则没有这个问题。不过，风动螺丝刀需要高压气源作为动力源，要用到空气压缩机，所以一般单位，特别是家庭很少使用。

螺丝刀的规格

作为手动工具的螺丝刀按大小来分有大型螺丝刀、中型螺丝刀、精密螺丝刀之分。划分的参考标准主要参考螺丝刀刀头的型号和刀杆的长度，所以很多螺丝刀规格由两部分构成，如PH1×80，其中PH1表示该螺丝刀的刀头是十字型规格为PH1，80表示螺丝刀刀杆长80mm（一般不计手柄长度）。一字螺丝刀则是用刀口宽度和刀杆长度作为规格基础。我们俗称的钟表螺丝刀属于精密螺丝刀，是需要精密加工的一类螺丝刀。目前大部分家庭常用到的中型螺丝刀为十字型螺丝刀（刀头规格PH1、PH2）和一字形螺丝刀，拆卸笔记本和小型电子产品多用到十字螺丝刀（刀头规格PH0）。实际使用中，对于一字和十字螺丝，同一类型相邻规格的螺丝刀很多时候也能“通用”，只是如果相差太大，容易加剧螺丝刀槽的磨损。我们有时看到磨损严重的螺丝大多是由于不规范使用螺丝刀引起的。

螺丝刀的刀头有多种类型，不同类型中又有不同大小的规格。常用的类型有一字（Slotted）、十字(Phillips/crosspoint)、星形（TORX），在专业场合应用的有米字(pozidriv)、球头内六方（ballpoint HEX）、内六角形（平头）、六方套筒（Nutdriver）,此外还有三角Y形的Tri-Wing 型和刀头类似U型叉子的M型特殊规格。六方（六角）还有公制和英制之分。

十字槽螺丝是目前应用最为普遍的螺丝，也被称为Phillips螺丝，对应螺丝刀刀头的规格也以PH打头。之所以称为Phillips螺丝，是因为十字槽螺丝最早是Henry Phillips慧眼购买了相关专利并加以改进，也是Henry Phillips使十字槽螺丝最终商业化生产进入市场。使用过十字槽螺丝的朋友都会直观感觉到，相对一字槽螺丝，十字槽螺丝会使螺丝刀自然居中，不会出现位移，大大提高了工作效率。常用的十字型螺丝刀刀头从小到大有PH000、PH00、PH0、PH1、PH2、PH3等。在很多进口手机上用到的星形螺丝刀（也被称梅花螺丝刀），刀头从小到大有T6、T8、T9、T10、T15、T20等。



螺丝刀品质分级

不少螺丝刀按照应用场合不同常被厂家分为多个档次，其性能和设计会有很大的不同。一般手动螺丝刀被分为通用级、专业级、高品质级、工业级。

通用级也被称为 basic 级或家用级，针对非专业的家庭用户，一般是同品牌中性能最普通的产品。对于家庭用户来说，这一档次产品如果正确使用，那么螺丝刀的寿命几乎是可以传代的。因为一般家庭用户使用螺丝刀的机会很少，大多数是以备不时之需所用，可能一年也用不上几次，所以这一级别的产品提供了尚可的性能和低廉的价格，使得非专业的用户能够接受其价格。对于非专业的大众用户花大价钱去购买平时几乎不用的工具几乎是不可思议的，工具发烧者除外。

专业级也被称为Professional级，针对专业使用人员，一般是同品牌性能优良的产品。这里的专业人员一般指维修、研究场合的人员，不是指流水线上的操作工，工具被较频繁地使用，但不是像流水线那样的高强度的水平。这一档次的工具往往使用上好的材料和工艺制造，同时螺丝刀刀口具有很好的精度，很多产品能被工具发烧友“入眼”。

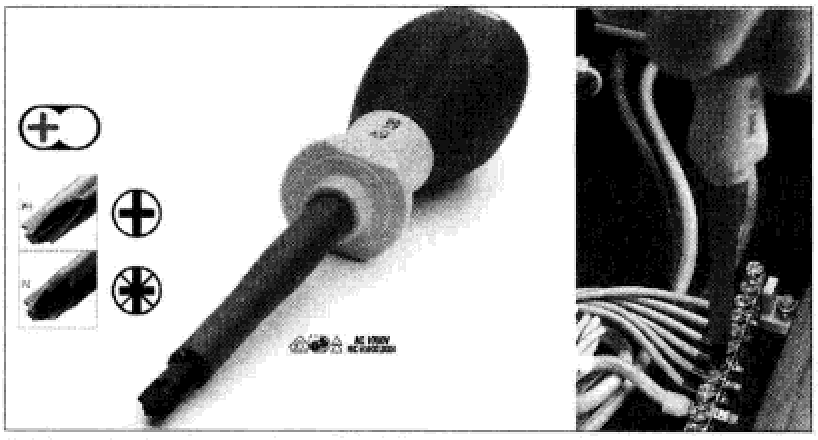
高品质级也被称为大师级，往往是一个品牌的高端产品，除了其有优良的性能，还代表了品牌形象，所以除了优良的质地外，在产品的外观设计、表面处理甚至包装设计上，往往更上一层楼，做到极致，LOGO标志也都非常精美，当然价格也提升很多。使用这一品级的用户往往已经超越了使用工具的基本意义，成为业内专业身份的象征。这一品级的产品往往是工具发烧友所追捧的极品。

工业级产品是专门针对流水线和现场操作之用，产品设计可能不一定具有很高的精度，但具有最高的耐用程度，以适用高强度工作的压力。想象一下，每天需要使用成千上万次的螺丝刀如何才能保证其寿命。工业级产品可能没有亮丽的外形，但有坚实的基本性能，同时还有适宜的价格，成为资深工具发烧友的珍品。

并不是每个品牌的产品结构都按此分级标准，有的专业品牌不涉足家用市场，也不搞明确的分级档次，做到“品牌代表高品质”(实际产品中也按性能特性分成不同的系列)。德国 LUX 乐士德品牌将螺丝刀等工具分为三星、四星、五星系列，德国 WERA 维拉和 Wiha 威汉则不做产品档次分级。

分级产品的价格差异是很明显的，如果一把常用中号螺丝刀LUX 的三星级产品售价不到 10 元，四星的产品一下上升到 30 元水平，五星产品则要 60 元以上。

通用级产品也不是低档工具的代名词。不同厂家对产品品质控制不同，有的名牌通用级产品甚至会比一些品牌的所谓高端产品性能更好。很多国外大品牌的通用级工具水平与国内主流优质工具相当，有的就是委托国内正规工具大厂OEM的，所以我们会发现，很多进口品牌的产品产地都逐渐变成MADE IN CHINA了。对于工具发烧友，在注重品牌的同时，也要注意产品分级情况，关于不同品牌的产品结构，看一下该公司产品的精美产品手册就能了解一二。



德国Wiha品牌

高品质螺丝刀是如何制成的

制造一把高品质螺丝刀需要具备以下几个基本要件：第一性能优异的材料，第二精湛的加工工艺，第三优秀的产品设计。

一般螺丝刀的主体包括螺丝刀头和刀杆，都采用金属材料制成，手柄处采用塑胶类材质。作为旋动工具，螺丝刀的主体要求具有很好的刚性，同时也要具备很好的韧性。理想的螺丝刀刀头要硬，整体要韧性好。

高品质的螺丝刀一般都选用上好的合金钢材，中高档螺丝刀多采用铬钒钢材质，铬钒钢是加入铬钒合金元素的合金工具钢，以提高钢的耐磨性和韧性，热处理后硬度可达60HRC水平。一般采用铬钒钢材质的螺丝刀都会标上CR-V字标。更高级的螺丝刀材料是铬钼钒钢，字标为CR-MO或者CRMOV，也被称为S2钢。铬钼钒钢材具有更佳的韧性，广为国际上顶级螺丝刀和小型六角扳手等高要求工具所采用，很多工业级的螺丝刀头也采用铬钼钒钢。最极致的做法甚至是在刀头上采用镶钻石涂层或者氮化钛镀层的方法，以提升刀头硬度和延长使用寿命。

优质的材料加工工艺决定了螺丝刀的最终品质。螺丝刀刀头的硬度和形变与加工时的热处理工艺息息相关。刀头的硬度关系到刀头的耐磨损性能，在处理被拧得很紧或者有些锈死的螺丝时，螺丝刀的高硬度就展现出优势。一些低档螺丝刀可能螺丝没松开，刀头自己先变形了，而高硬度螺丝刀头有时甚至可以把劣质螺丝给旋断了，而自身丝毫无损。此外，螺丝刀刀头的加工精度也非常重要，尤其是一些比较特殊的星形、米字、六角螺丝刀以及一些精密螺丝刀，刀头的大小和角度都有讲究。精度不高的螺丝刀容易破坏螺丝的刀槽。

螺丝刀的设计可以展现品牌的特点，增加产品的新特性，改善操作的舒适度。螺丝刀的设计主要在螺丝刀刀体和手柄上做文章。

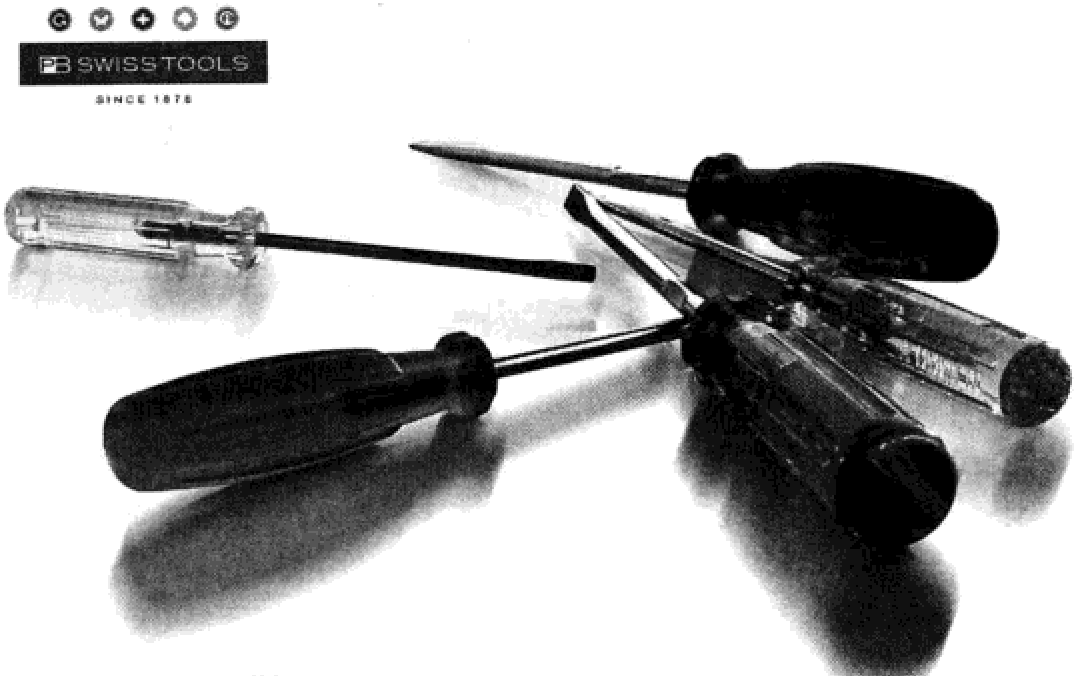
有的产品在螺丝刀刀头加上磁性，刀头特殊处理，增加摩擦系数，刀杆增加了六角形助力设计，可以方便地通过扳手助力。有的组合螺丝刀刀头与刀杆一体化设计，活动连接部件位于刀柄内，这样就能大大提升了组合螺丝刀的整体型，使用起来与单支独立螺丝刀没有多大区别，也像单支的螺丝刀那样适合进入一些狭小的螺丝孔。对于组合螺丝刀来说，除了传统螺丝刀的设计要点外，如何让活动部件紧密结合融为一体是关键，其最高境界就是做到像单支螺丝刀一样的整体效果。

螺丝刀刀柄是最容易有设计的部分，比如在手柄上设计上棱角外边，可以有效防止螺丝刀滚动，手柄外形参考人体工程学设计，适合手握的特性，增加操作的舒适度，采用软硬手柄材料搭配，增加手柄与手掌的摩擦系数，使操作更为舒适，精密螺丝刀刀柄上安装可旋转的手柄底座，方便连续转动。

总的来说，对于一把高品质螺丝刀，材料是基础，加工是关键，设计是锦上添花，不是用了好钢材就一定是高档螺丝刀。国内现在有一些螺丝刀产品，标榜自己使用CR-V材料，暗示用户这是高级产品，其实并不一定这样。上面提到的铬钒钢和铬钼钒钢只是一种钢材的种类，具体到钢材，还有国产钢、日本钢、瑞典钢、德国钢之分，其品质还存在一定差别，这也是某些CR-V材质螺丝刀价格便宜的原因之一。如果说好钢材只要花钱不难买到，好的设计可以互相借鉴，但热处理技术和高精度加工不是轻易能掌握的，这也是一些专业螺丝刀厂家的精华所在，不是其他厂家能轻易模仿的。

发烧螺丝刀

工具爱好者以拥有极品工具为荣，也为此不惜花费大价钱。德国的钢材品质和热处理技术都是世界顶尖的，德国产品以一贯的严谨作风闻名于世，德国工具以其一贯的优良品质在用户心目中树立了良好的形象。在很多人眼里德国工具就是品质的象征，德国品牌的螺丝刀自然成为工具发烧友追



瑞士PB tools普通型号的螺丝刀

德国metabo锂电池电动螺丝刀

捧的珍品。德国WERA维拉和Wiha威汉是专业制造螺丝刀的厂家，并为很多著名工具品牌提供OEM产品，国内也比较容易买到这两个世界级品牌的产品。

对于发烧友来说，购买螺丝刀已经远远超出了使用螺丝刀的实用意义，所以很多发烧友对于德国货的“血统”特别重视，认为真正在德国境内生产的产品才有极品收藏意义，而其他地区分厂的产品，甚至是贴牌产品，就会使收藏意义打折扣。

在全球工业化的大背景下,很多国际品牌都在全球各地开设工厂是很常见的，所以产地会有所不同，这就很好理解有的德国著名品牌螺丝刀产地在德国以外的地区。此外,大部分国际著名工具品牌不可能亲自生产所有类型的工具，所以很多企业在生产自己拿手主力产品的同时,会向其他企业要求为自己OEM或ODM其他类型的工具，这样可以丰富自己的产品线，并利用品牌效应进行销售。各工具企业间相互提供OEM产品是互惠互利的市场运作方式，也是业内公开的秘密。例如生产螺丝刀而著名的企业可以通过OEM方式获得打上自己品牌的钳子，同样，生产钳子而著名的企业也能以同样方式获得自己品牌的螺丝刀。对于OEM产品的品质档次由企业根据产品市场定位而选定不同档次的OEM厂家。中国的人工费用相对便宜、原料丰富，所以我们在市场上看到很多美国、日本甚至德国大品牌的工具产地都标上了MADE IN CHINA。

市场上，德国品牌的螺丝刀在商品标注上有两种，一种是made in Germany，一种是Germany。按照惯例标注“made in Germany”的产品必须在德国境内生产，即使是OEM产品，其原产地也必须是德国。而标注“Germany”有很多说法，原产地可以是德国，也可以解释为该品牌为德国注册品牌，产品是其他地方制造，甚至只是贴牌而已。有些进口品牌工具对于原产地是德国本土的标上“made in Germany”，而不在德国生产的外加工产品则标上“Germany”，或者对于很多中档产品索性只标品牌不标产地（只在出厂大包装上标上真实产地，零售用户基本没有机会看到）。对于工具发烧友来说，要购买正宗的德国原产工具要认准“made in Germany”字样。

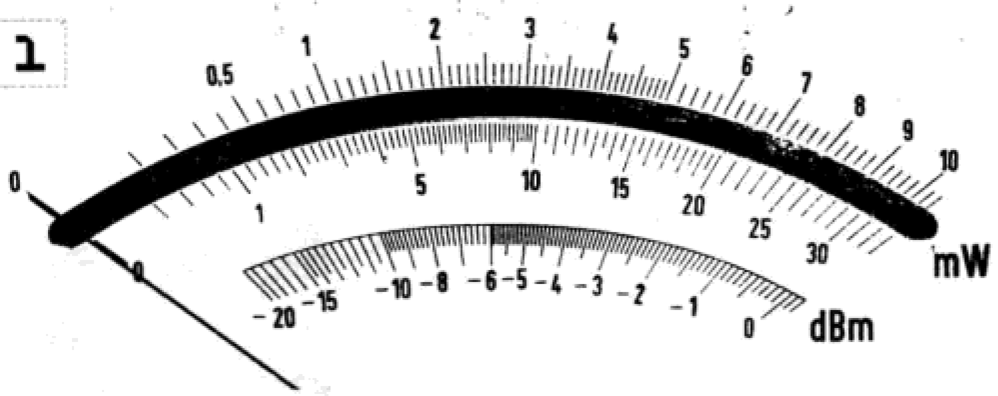
进口工具中，世界知名的手动螺丝刀品牌有德国的Wera、Wiha、HAZET、WITTE、LUX、Knipex、GEDORE，瑞士PB tools，法国FACOM，美国Snap-on、proto，意大利beta，日本VESSEL、罗宾汉RUBICON。这些都是工具发烧友所追捧的品牌。

讲究实惠的朋友，美国品牌世达Sata、史丹利Stanley和我国台湾的Pro'skit宝工都是不错的品牌，它们的很多产品多是在国内生产，产品具有很高的性价比，实用性很强，外观设计也不错。

电动螺丝刀方面，比较新款的电池型电动螺丝刀纷纷采用锂电池作为动力，较传统使用镍镉电池的产品具有电池容量大、寿命长、无记忆效应的优势。德国博世BOSCH的产品在国内名气很大，德国麦太保metabo是很专业的高端品牌，此外德伟DEWALT和百得Black&Decker也是很不错的品牌。

◎杨法（BD4AAF） 业余电台仪器实战系列 1

功率计使用攻略



仪器市场上的功率计大致有3种：一种是用于交直流市电之类功率测量的功率计，又称为电量测试仪；一类是用于无线电射频信号功率测量的功率计，也称为射频功率计；一类是用于测量光谱范围的功率计，又称光功率计。这些不同的功率计，测量的对象不同，用途也不同，本文要介绍的是用于无线电射频领域的功率计。射频功率计（以下简称功率计）是用来测量发射机发射能量的仪器，广泛应用在发射机调试、电台计量、天馈系统检测里。可以说，功率计是业余无线电爱好者使用频率最高的仪表之一。

功率测量的实用意义

对于业余电台爱好者来说，通过功率计测量发射机的输出功率可以判断发射机硬件设备工作状态是否正常，产品发射指标是否达到厂家的设计标准。

以前有HAM测量过当时日本进口的某型号手持对讲机，该产品的宣传广告上介绍该对讲机有5W功率发射，实际测量后发现只有3W左右的发射功率。一开始还以为仪器不准，后来仔细查看说明书，才发现厂家所说的5W输出功率需要外接12V电源或者使用12V高电压电池块才能达到，标配7.2V电池块虽然体积相对比较小巧，但输出功率也会大打折扣，因此有的HAM为了追求大功率发射特地自制了9.6V电池组。

再举个例子，有HAM通过测量自己的UV电台发现标称输出35W的机器实际输出只有二十几瓦，将电台返修，维修站却说机器性能正常，没有故障。最终检查发现，造成功率不足的原因是自己所用的稳压电源容量虚标，在大电流下输出电压跌得厉害，导致对讲机输出功率打折扣，在更换优质稳压电源后，电台输出功率恢复。

这些实例反映了功率测量对了解发射机特性真实性能的重要性，也有HAM通过测量功率发现有些对讲机功率明显虚标。

对于现在广泛使用的无线AP（接入点）和无线网卡等很多产品都标榜自己是大功率输出，输出功率高达100mW、200mW甚至500mW，以具备更大的覆盖范围，如果有功率计的话，一测便知真伪。笔者曾经测试过一些所谓500mW功率输出的“卡皇”无线网卡，实际输出功率只有120mW左右，一些被炒得很热的大功率AP，远没有商家吹嘘的那么大的输出功率。

前面所说的测量功率只是用户对现有成品设备性能的检测。对于喜欢DIY电台或是调试改装的朋友，测量功率更为实用。自制电台要确认功放是否工作，虽然在没有仪器的情况下可以观察电流变化，但如果有功率计直接测量，那就更为直观，能直接确认输出功率是否达到设计预期，并可准确调整功放功率。通过监视实际功率输出大小变化，可以调整低通滤波线圈，使得有效功率输出最大。同样，一些需要更改工作频段的对讲机和射频功率放大器都可以通过功率计监视输出变化，以调试输出回路，使实际输出功率达到最大。有的HAM喜欢将100W的短波机提升功率到150W使用，榨出机器的余量，这同样少不了功率计的定量测量，以免功率放大调过了头。

功率计除了用来测试电台输出性能，还能测量电缆和天馈系统以及插入部件的实际损耗。我们可以使用功率计分别在发射机的输出端和被测电缆的末端测量功率读数，两者相减即得出电缆在当前频率下的实际损耗，电缆优劣一目了然。对于打算用这种方式测量电缆损耗的朋友，最好使用较长的电缆，如100英尺或者100m，这样更容易测量。当然，专业测量电缆损耗应该使用网络分析仪。

有一类通过式功率计可以测量正向功率和反向功率，正向功率和反向功率的比值就是驻波比SWR，驻波比的计算公式为：

$$VSWR=\frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \quad \Gamma=\frac{V_{reu}}{V_{fwd}}=\sqrt{\frac{P_{reu}}{P_{fwd}}}$$

除了公式计算外，也可以通过查表的方式来换算正反向功率与驻波比。

有的功率计直接有驻波测量功能，我们可以直接读数。大家都知道，驻波比是反映阻抗匹配的标志性参数，是天线特性的重要指标之一。驻波小的天线不一定是好天线，但驻波很大的天线一定不是好天线。驻波大说明匹配不好，传输损耗就会大大增加，致使天线的发射效率大打折扣。一些用户因为没有内置驻波比显示的短波电台，在天馈系统中串入功率驻波比表，以实时监视天馈系统状态。

功率计与驻波比表

有些功率计提供驻波比测量的功能，有些驻波比表也提供功率测量功能，如常见的DIAMOND SX600、SX1100都提供功率和驻波比的读数。其实，驻波比就是基于传输线上的正向和反向功率的测量，可以说，同样的测量数据不同的表示方法。由于要涉及反向功率的测量，所以必须是通过式功率计才具备驻波测量功能。

驻波比表对定向耦合器的要求比较低，因为驻波比是一个相对的比值，所以定向耦合器耦合到的能量大小线性度并不重要，其非线性会在比值中相互抵消，而功率计需要绝对的功率读数，对定向耦合器的特性要求很高。这也是一些低档廉价驻波比功率计的驻波比测量还比较准确，但功率测量误差很大的原因。

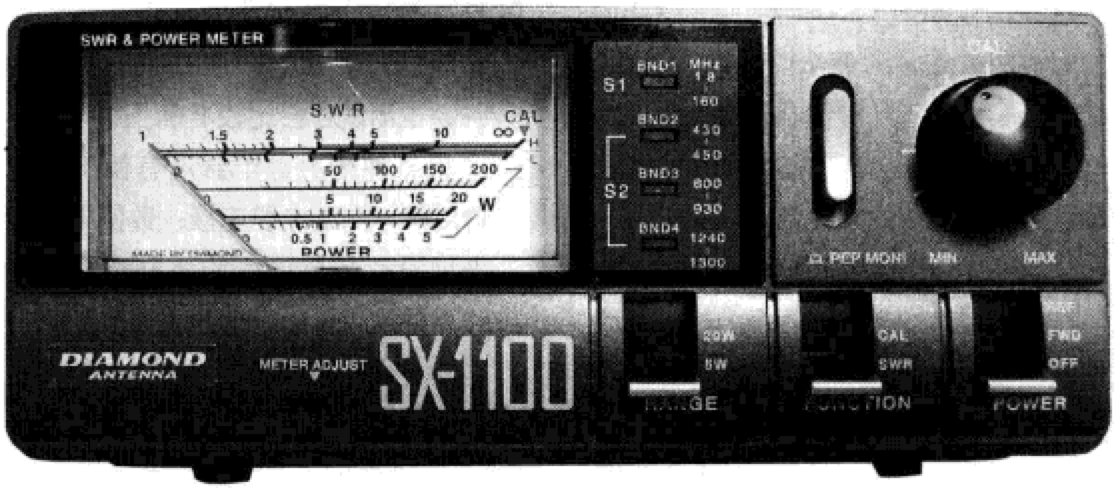
终端式功率计VS通过式功率计

功率计从产品结构上有终端式功率计和通过式功率计之分。终端式功率计每路功率测试只有一个输入端口（也称为吸收式功率计），作为终端接入测试线路，功能上比较单一，主要就是功率的测量。终端式功率计可以采用多种测量原理，一般高级功率计用得比较多的是热电偶法，优点是灵敏度高、响应速度快、带宽宽、噪声低、零点偏移小，比二极管检波法精度要高得多。通过式功率计有输入和输出两个端口，以串联的形式接入电路，可以完成在线检测和系统监视。通过式功率计一般功能比较多，除了可以测量正向功率，还可以测试反向功率，有些还可以提供驻波比读出功能。通过式功率计输出端口配合负载器就能当终端式功率计用。大部分通过式功率计采用定向耦合器二极管检波法来测量功率。总的来说，在中高档产品中，终端式功率计测量精度高，通过式功率计功能多，各有特点。

功率的测量

一般传统的射频功率计仅适用于测量具有稳定幅度的射频信号，如CW等幅电报、FM调频等FDMA信号。对于目前数字通信中用得比较多的TDMA信号，如GSM、TETRA、IDEN信号，则不能直接测量。测量这些在时间间隙发射的信号需要专用的功率计，如在GSM或TETRA综合测试仪中集成的专用功率计或能捕获时隙信号的功率计。如果要使用通用仪器测量TDMA的信号，可以考虑使用频谱仪的峰值保持功能，捕捉瞬时的发射信号。在FDMA中也有输出幅度不稳定的信号，最常见的信号就是SSB信号，SSB信号的输出幅度随音调调制高低而变化。所以，要准确测量短波电台SSB信号的功率，需要为电台输入稳定的音频调制信号，输入信号可以从信号源获得（一般函数信号发生器就能胜任），输入幅度参考短波机说明书中标明的话音信号输入要求，并适当调整短波机的MIC增益。

对于业余电台爱好者来说，想测量自己的短波电台功放功率可以另辟蹊径，直接利用短波电台上的FM调制模式进行测量，这样无需辅助设备，一按话筒上的PTT电台就能输出稳定的功率（有的电台面板上有手动发射自锁按键和按PTT的作用相当）。有的短波电台，尤其是专业短波电台，不具备FM功能，如ICOM的IC-718之类，那么我们可以尝试使用RTTY模式。CW是最适宜用作功率测量的模式，不过很多短波电台按话筒PTT键，在CW模式下并不真正发射，必须使用专用电键才能工作，操作起来没有在FM模式下直接按PTT方便。另外，有的短波电台内置有自动天线调谐器，测量功率时应该将天调设置在直通状态。

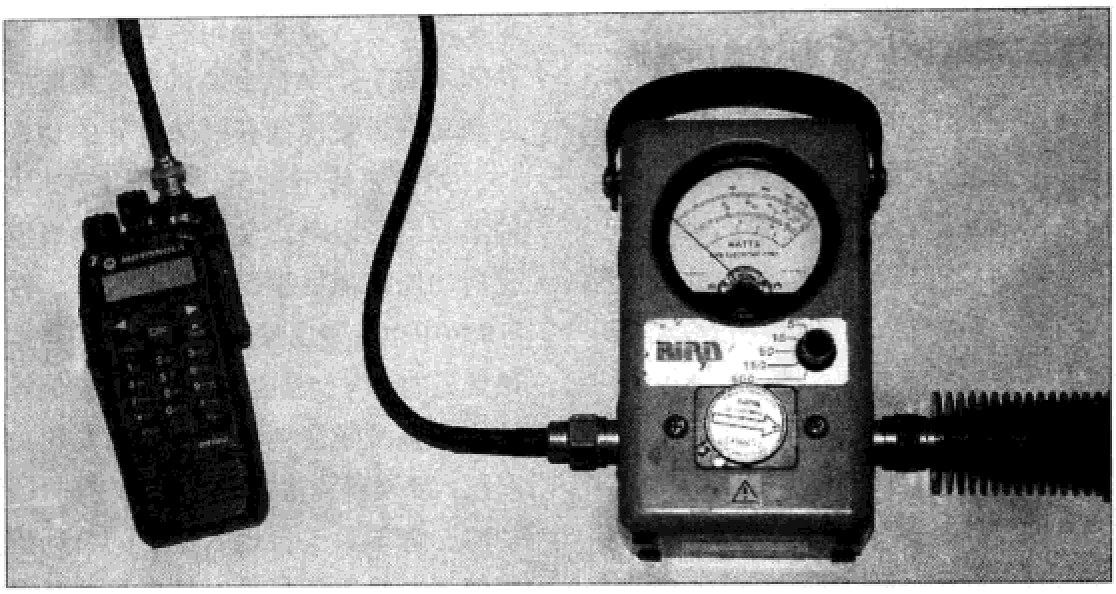


提供功率测量的钻石SX-1100驻波比表

功率计的使用方法

1. 终端式功率计测量发射机输出功率

第一步，选用对应频段、功率量程、阻抗特性的探头。第二步，正确设置功率计的量程挡位，对于不明被测功率的电台，建议将功率计量程设置在最高挡，实际测量时再根据具体情况逐渐调小量程。对于指针表电



用功率计测量对讲机输出功率

表，过小和过大的偏转都会影响测试的准确度。一般表针偏转的范围在20%～80%比较适宜。第三步，通过测试电缆与被测发射机相连。第四步，使发射机处于发射状态等输出信号稳定后读出功率数值。

2. 通过式功率计测量发射机输出功率

第一步，选用对应频段、功率量程、阻抗特性的探头或者输入接口。第二步，正确设置功率计的量程挡位，对于不明被测功率的电台，建议将功率计量程设置在最高挡，实际测量时再根据具体情况逐渐调小量程。对于指针表电表，过小和过大的偏转也会影响测试的准确度，表针偏转的范围在20%～80%也比较适宜。第三步，在通过式功率计输出口安装上足够功率等级的负载器。第四步，通过测试电缆将功率计输入端口与被测发射机相连。第五步，使发射机处于发射状态，等输出信号稳定后读出功率数值。在执行第五步操作之前还可以利用功率计测量一下安装负载器后的反向功率或驻波状况，以确认负载器工作正常，一般要求负载器SWR<1.2 。

3. 通过式功率计测量天馈系统

第一步，选用对应频段、功率量程、阻抗特性的探头或者输入接口。第二步，正确设置功率计的量程挡位，对于不明被测功率的电台建议先将功率计量程设置在最高挡，实际测量时再根据具体情况逐渐调小量程。指针表电表过小和过大的偏转也会影响测试的准确度，一般表针偏转的范围也在 20% ~ 80% 比较适宜。第三步，确保发射机呈关闭状态，断开发射机的天线电缆，将功率计探头通过测试电缆串联入天馈系统。第四步，开启发射机，等输出信号稳定后，读出正向功率、反向功率或者驻波比数值。一般测量正向 / 反向功率的操作比较简单，没有特别之处。对于驻波比测量，一些仪表（如 DIAMOND SX-200/400/600/1000 之类的）需要校满幅度操作，具体用法可参考产品说明书。

影响功率测量准确性的常见原因

有的用户在测量功率时会遇到实测功率比预期要小的情况，如标称5W的对讲机，实测只有4W多一点。这种结果一般由以下几种情况造成：

第一种情况是最常遇到的，就是测试电缆和接头的损耗问题。

连接发射机端口到功率计输入端口的电缆和转接头必然存在损耗，当这种损耗很小时可以忽略不计。这种损耗随着测试频率的升高会越来越明显。电缆的损耗取决于电缆的品质和电缆的长度。一般正规的测试电缆或者电缆线在产品说明资料中会给出电缆在不同频率下损耗的具体数值。在同等制造技术条件下，越粗的电缆高频损耗越小，但实际使用中，为了方便，用户都喜欢使用相对细软的电缆，超高品质的专用测试电缆很贵，甚至会超过一台钻石SX1000 驻波表的价钱，一般个人爱好者很少会考虑。有些朋友用一两米品质不高的 RG58U 电缆（相当于 -3 电缆）制作测试连线，在 400MHz 以上波段损耗还是比较明显的。

笔者曾经测试过一些HAM自制的测试线，用的是电脑网络上常用的RG58U细缆，实测手台功率，被电缆“吃掉”零点几瓦是很常见的。如果是DIY的测试电缆，建议使用衰减特性小的优质电缆，在可以接受的前提下，测试线尽量短、尽量粗一些。线材方面，一些多股的电缆会比单芯的电缆柔软一些，百通、安德鲁、藤仓、关西等品牌的电缆都是质量很有保障的电缆，网上也很容易查到各种具体型号电缆的衰减特性。

第二种情况是负载没有良好的匹配干扰了正常测量。

这种情况发生在通过式功率计上，一般通过式功率计测量功率时需要在其输出端口连接匹配负载器，要求负载驻波不大于1.2，控制在1.1以下是比较理想的。有的HAM手头没有假负载，用匹配良好的天线作为负载，实践证明也是可行的，不过需要注意的是，有的天线在不同频率下驻波比波动明显，要在当前测试频率下保持SWR<1.2测试才会比较准确。

第三种情况是电台没有使用正确的转接器与测试电缆连接，致使电台的外壳地没有和传输线的外屏蔽层有效接触，导致测量功率读数明显偏小。

这主要发生在一些接口特殊的电台上，如MOTOROLA的GP2000、Saber、GP3688等。为了得到正确的测试数据，必须使用配套的专用接口。

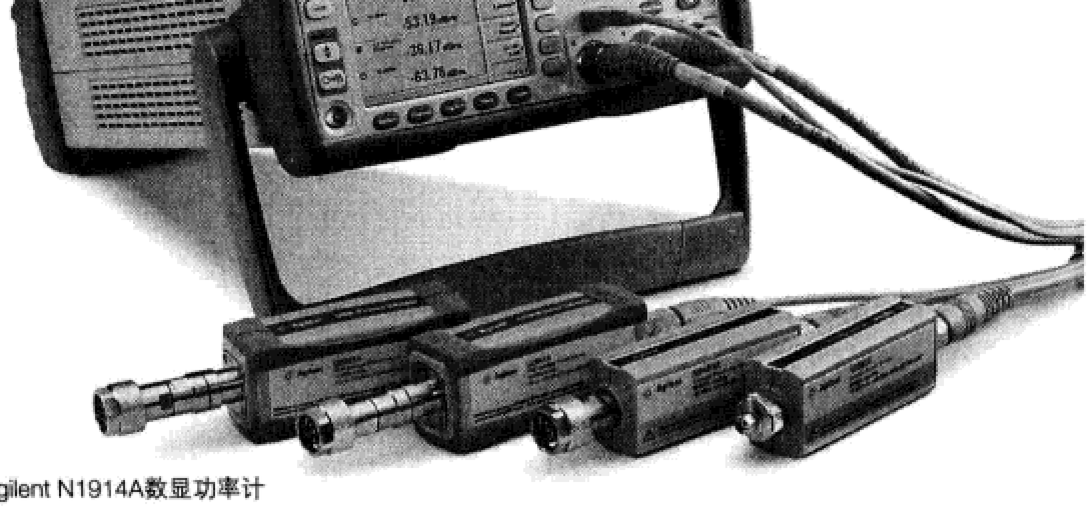
第四种情况是源自发射机自身的问题，比如手台电池在大电流发射时电压下降，13.8V的固定台使用12V电源电压偏低，大功率电台使用芯线很细的电源线，导致电源线上压降过大，影响发射电压，造成发射机发射功率打折扣。

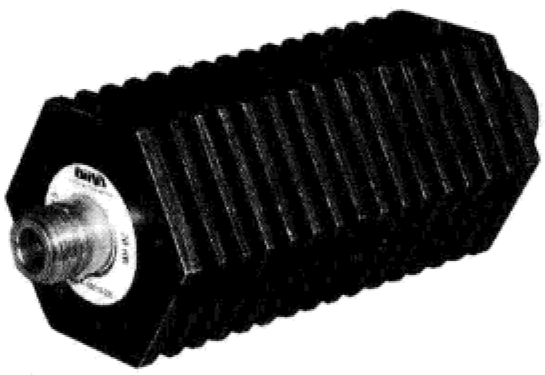
指针功率计VS数显功率计

功率计的显示界面有数字显示和指针机械电表显示两大类。指针式功率计基本电路简单，电路成本可以比较低，通常不需要使用电池（有些产品使用电源仅为表盘照明）。同时，指针表在显示SSB之类功率连续变化的信号时，指针配合表头阻尼摆动，看上去比较顺眼，可以显示一个大致的动态范围。但是作为指针表，表头的读出误差必然存在，功率计的指针表表盘刻度都是非线性的，大大增加了小数读出的误差。由于指针表可以满足一般现场测量的要求，加之价格适中，所以在业余电台HAM手中，指针型功率计还是占绝对多数。

数显功率计一般都需要用到单片机，电子线路也相对复杂些，需要电池供电，价格通常比较高。数显功率计优势也是非常明显的，首先数字直接显示读数非常直观，不再像指针表那样存在读数误差和指针表头误差。其次单片机可以预设校正数据，通过运算补偿定向耦合器在不同频段的非线性，以提高产品测量精度，大部分现代高端功率计都是这样做的。显示动态数据尤其是变化率较高的数据一直是数字显示的弱项，所以数显的功率计采用峰值保持、平均值显示等数据处理手段来缓解这一问题，有些产品也采用同步外接指针表头或者液晶标尺显示的方式来改善数字显示的先天不足。

在数字化的时代，很多人都认为数显的功率计一定比指针功率计精度高测量也准确，这样的观点在一些高端仪器上是正确的，但在一些低端仪器中并不一定。在高端仪器方面HP/Agilent、R&S、Bird、IFR的主流功率计早就全面采用数字显示了，很多产品的内部结构也采用数字化线路，凭借数字化技术将功率测量的精确度提高到一个新水平。在低端仪器方面则不同，有些数显功率计高频部分依然采用与指针表同样的定向耦合器线路，只是在显示界面上改成液晶数字显示。限于成本，功率计内没有频率计数器电路或参考频率输入功能，这样就无从探知测量时的对应频率波段，也无从发挥单片机根据不同波段进行运算补偿的优势。所以在低端产品中，数显功率计在性能上并不明显占优，产品的性能还是主要取决于高频单元的性能。因此，我们在市场上也可看到一些在不同波段准确度相差很大的杂牌数显功率计。


Agilent N1914A数显功率计


衰减器

功率计的好搭档

衰减器和负载器是功率计最常用到的器件。

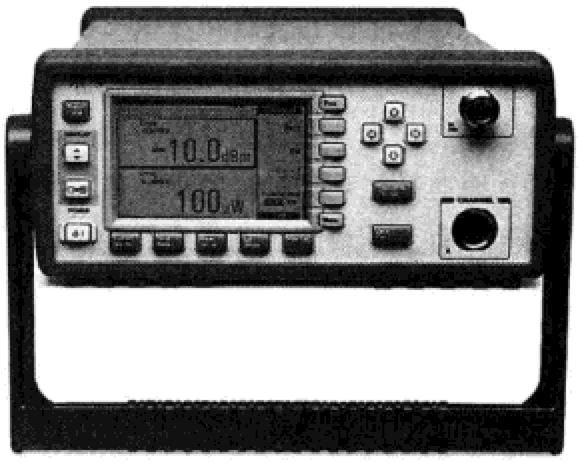
衰减器的作用是按一定比例对信号进行缩减，安装于功率计的前端，可以扩展功率计的量程范围。例如，一台最大量程为20W的功率计需要测量一个预计为50W的车载台输出功率，那么我们在功率计输入口安装一个10dB衰减器（信号缩小10倍）。50W功率的信号经过10dB衰减器后，就被等比缩减为5W水平，这样就能用量程为20W的功率计测量了，得出的读数乘以原来被缩减的10倍，即为车载台实际输出功率。如果这个20W量程的功率计要测一个500W放大器功率，那么就需要配一个20dB衰减量（信号缩小100倍）的衰减器，那么500W的信号经过它等比缩减为5W输出信号。

衰减器的主要参数是衰减量、承受功率、工作频率。衰减量标志衰减器衰减的比例，比如3dB衰减器将信号缩小一半，30dB衰减器将信号缩小1000倍。衰减器将信号等比缩减，多余的功率转化为热能消耗掉，所以衰减器有功率限制，超过设计功率限制会损坏衰减器。衰减器要求在指标频率范围内衰减量有很好的稳定性，所以衰减器有工作频率范围。当衰减器衰减量不足时，理论上可以用多个

衰减器串联使用，衰减量为串联衰减器衰减量相加的总和。不过考虑到过多接头引入的意外衰减量，所以在高精度测量时不建议串联使用多个衰减器。连接衰减器需要注意的是，有的衰减器有信号输入/输出方向，连接反了会损坏衰减器。

负载器是具有一定阻值的纯电阻特性电阻。负载器安装于通过式功率计的输出端，用于吸收功率。负载器等效于一个在很宽频率范围的理想匹配天线，所以也被称为假负载。一般在通信电台系统中多使用50Ω的负载器，在电视广播系统中用75Ω的负载器。负载器的主要参数是承受功率和工作频率。若超出标称工作频率，其匹配特性就会劣化，驻波比上升，影响测量准确度。

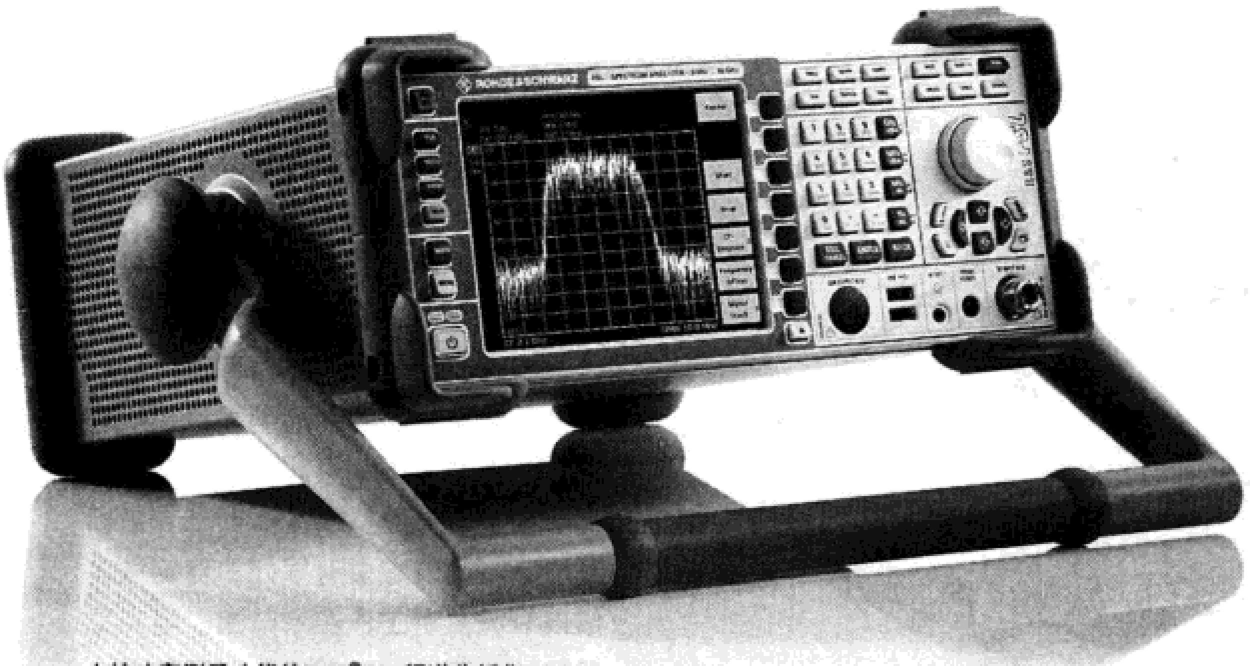
负载器



Agilent E4418B

选择适合自己的功率计

选购仪器要根据自己的应用需要、精度要求、资金预算、品牌偏好来综合考虑。品牌方面，美国的HP/Agilent、IFR/Aeroflex、Bird，德国的Rohde-Schwarz，日本的ANRITSU都是功率计方面的一线品牌，可提供顶级性能的产品，广泛应用于各个专业领域。在业余电台领域DIAMOND、REVEX、DAIWA、COMET指针式功率计产品提供个人更容易接受的价格。



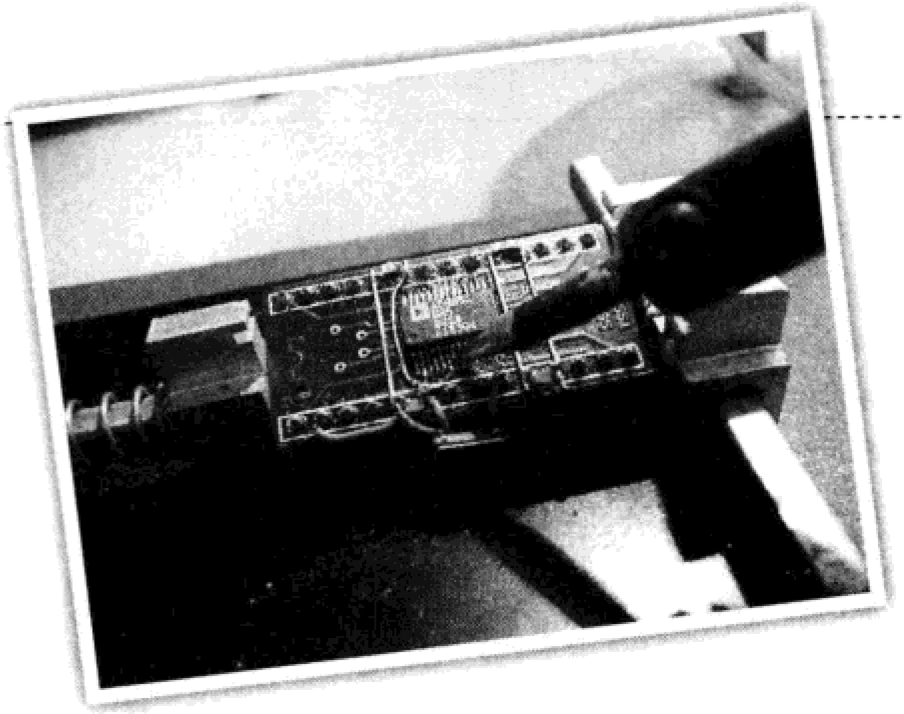
支持功率测量功能的R&S®FSL频谱分析仪

对于大学和研究所的实验室等需要精确测量的场合，国际一线品牌的产品可以提供顶级的性能和可靠性，Agilent E4416/4417/E4418/E4419、R&S NRP/NRT、Bird 5000、ANRITSU ML2430/2480/2490都是国内广为应用的产品。

对于个人业余电台用户，日本DIAMOND SX-200/400/600/1100、REVEX W540/560/570提供了很好的常规信号功率测量工具，并且可以达到一机多用的效果，兼顾功率和驻波的测量，在短波应用上还可以作为线路在线监视之用。

追求实用和高性价比的HAM，通过式功率计要比终端式功率计实用得多，而且作为机器基本检测和调试高精度的功率测量，实际意义并不大。

对于喜欢美系专业品牌、同时预算又比较多的朋友，美国Bird 43和Bird 4304A指针功率计是不错的选择，无源线路坚固、耐用，故障率极低，外壳超级结实。Bird 43（5%精度）虽然精度上要比4304A（6%～7%精度）高些，但43型表的频段和量程切换需要通过更换不同的窄带探头来实现，即便是购买一组常用频率/量程的探头已经价格不菲。笔者初步算了一下，满足业余电台应用大约需要至少6个探头，目前市价一个探头的价格就在千元人民币水平。相对而言，4304A一个探头就能“通吃”25～1000MHz，并且有5/15/50/150/500五挡量程切换，测量精度优于SX-600(10%精度)，性价比更高些，但即便是5000元左右价格的BIRD 4304A，与钻石高阶驻波比表相比，依然贵了很多。而且Bird 43和Bird 4304A没有驻波比直接读出功能，需要分别测量正向、反向功率后，手动计算或者查表来获取驻波比数值。够用和实用是在预算有限的情况下很实际的选购原则。



◎卫小鲁

更上一层楼

——手工打造频率超过10MHz的DDS信号源

在本刊2009年第12期，笔者讲解了通过DDS产生正弦波的原理，并介绍了一款具体的制作，使用的DDS芯片是AD9833。这次我们使用另两款芯片AD9850和AD9851来做这个信号源，使信号频率轻松地突破了10MHz。和AD9833芯片相比，它们的特点是：使用更高的参考时钟频率，最高可达125MHz（AD9850）和180MHz（AD9851)，从而能够得到更高频率的输出。

目前AD9850在网上很容易买到，价格也比较便宜，AD9851则要贵一些。这些芯片是28脚SSOP封装，体积比AD9833大，引脚间距较AD9833略大。与之适配的SSOP-DIP转接板容易买到，这样就比较容易安装，实践证明使用转接板和“洞洞板”，不用成品双面电路板也能成功。

AD9850、AD9851使用串行数据输入时，需要1根数据线和2根控制线，与AD9833完全相同，安装时只要在上次的DDS板上装上DIP插座和输出滤波器即可，板子和线路不需要大动，比较方便。

AD9850和AD9851使用40位的频率-相位控制字，频率控制就是32位二进制数，编程比AD9833的28位更加简单（但是AD9850和AD9851有所不同）。

虽然AD9850和AD9851功耗比AD9833大很多，原有的电源系统还是可以胜任的。

AD9850和AD9851没有三角波功能，所以原来的小键盘波形切换键的功能要改掉。

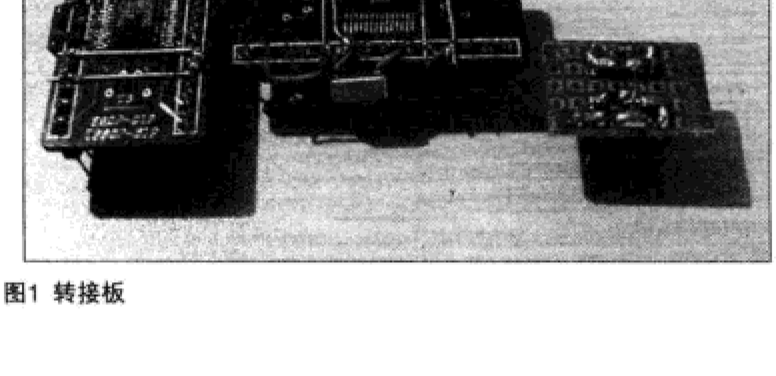


图1 转接板

在转接板上焊好的AD9850和AD9851见图1，注意，电源退耦电容和有源晶体也焊在转接板上。图中的小板为滤波器，插在DDS板上外观见图2。

工作原理

电路见图3。其中，液晶-键盘部分硬件没动，M8部分增加了一个复位电容（其实上次就该加上）。另外，PB0作为输入，连接到DDS板新增的开关S1（作用后面再说），其余不变，改动的主要是DDS部分（其实只是增加了有关插座和连线，原有的AD9833仍然保留可以使用）。

现在DDS芯片使用的是AD9850，引脚见图3（AD9851也完全一样）。D0～D7为数据输入，它可以使用8位并行输入，也可以使用1位串行输入。芯片在加电后默认为并行输入，若要使用串行输入，必须在加电启动后先输入8位2进数xxxxx011，其中x可以为1也可为0，低三位必须是011。为

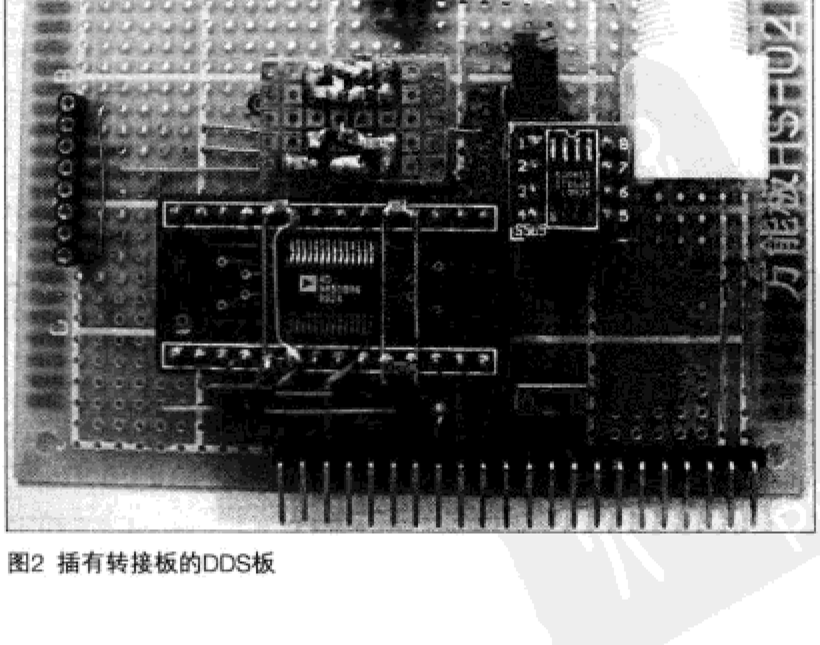


图2 插有转接板的DDS板

此，在硬件上把D2接地，使它总是0，D1、D0则相连通过R4接VDD，让它们总是“1”。然后通过程序加一个W_CLK脉冲和随后的一个FQ_UD脉冲，就设定了以后只要不断电，AD9850始终是串行输入方式。这时先低位、后高位的串行数据只能从D7脚进入AD9850，尽管此后D2、D1、D0还是焊死在地和正电源，它们也不能再起作用。DGND、DVDD、AGND、AVDD分别是数字地、数字电源正、模拟地、模拟电源正，实际上地都连接在一起，电源也不分开，只是在地和电源间加上退耦电容C8～C13。AD9851也和AD9850一样。

W_CLK与AD9833的SCLK不同的是，前者是上升沿有效而后者是下降沿有效。FQ_UD对应于AD9833的FSYNC，都是在上升沿有效，但是AD9850是一次送入40位再加FQ_UD，AD9833则是32位控制字要分拆成28位控制字，再分两次输入，所以AD9850编程更加简单。

AD9850的参考时钟频率最高可以达到125MHz，当然频率越高功耗也越大，现在使用的是100MHz有源晶体。而AD9851内部使用了倍频技术，使得外部用的30MHz有源晶体，内部却可以通过程序设置使用6倍频，即180MHz的参考时钟频率，因此它的输出频率更高。

AD9850和AD9851的DAC是电流互补输出，满度电流由接在Rset端的外部电阻R6决定，一般就按照手册取3.9kΩ，这时电流为10mA。输出端是IOUT和IOUTB，输出电流从IOUT经过低通滤波网络、接地和电阻R15回到IOUTB。这里按照器件手册，对AD9850使用了“5阶椭圆滤波器”，其特点是截止特性非常陡峭，可以有效地滤除42MHz以上的高次谐波。而AD9851使用的7阶滤波器，截止频率达到70MHz。滤波器元件数值均取自ADC芯片数据手册。现在通过自制一个小插件，上面装了两套滤波器（图中L1、L2、L3，C14、C15、C16、C17、C18）可以按需要使用。

RESET是复位，当它为高电平时会清除AD9850内部的寄存器，使芯片恢复原始状态，这里应该通过电阻接地或直接接地。如果想利用单片机复位AD9850，则要注意必须保证对应的单片机口线仅仅在复位时才能有正向脉冲，在其他运行时间恒定是0电位，而不得有偶发或周期性脉冲出现，否则会使它无法正常工作。

AD9850和AD9851的VINP、VINN和QOUT、QOUTB是正

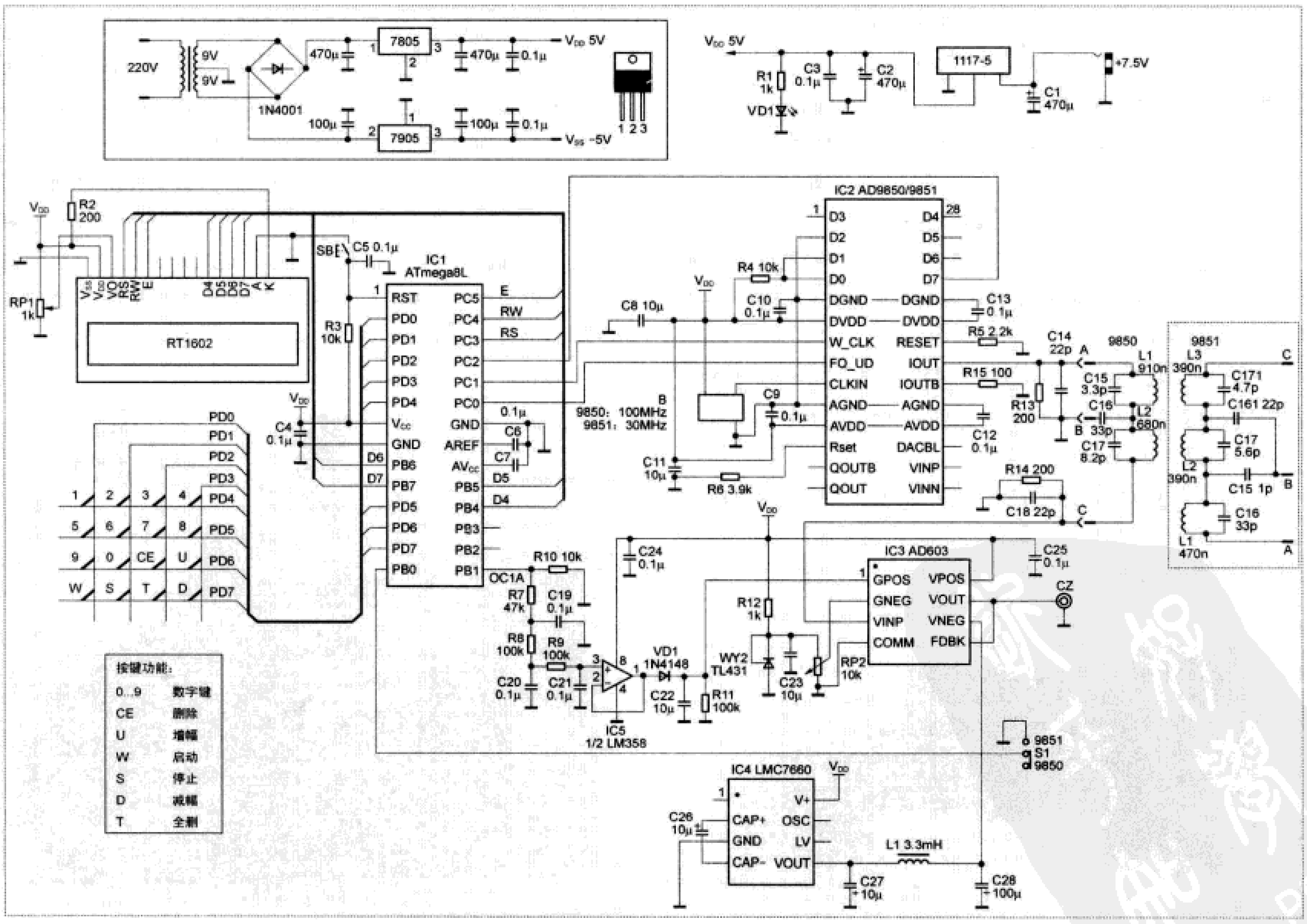


图3

弦波比较输入和方波输出，用来得到和正弦波频率一致的矩形波，这次制作没有使用。

AD9850和AD9851的电路虽然一样，但是编程和AD9850有些不同，因此用一个双位的小开关S1进行程序选择，使得DDS板也可用于AD9851。

信号放大部分没有改变。

制作要点

关键是制作AD9850插件块，可以按照以下步骤进行：

截取2条14孔的IC插孔条，把1条焊在DDS板的适当位置，注意先定位点焊1个焊脚，要保持插孔和电路板垂直，不得歪斜。

焊接另一条插孔条，注意两条插孔的间距一定要和转接板上的两排插针距离相等。

截取2条14针的IC插针，并插在焊好的插孔条上。

把SSOP-DIP转接板焊到插针条上，只要开始的插孔条是和电路板垂直的，转接板便不会歪斜。把焊好插针的转接板用夹持器夹住。

在转接板的5-6、10-11、18-19、23-24插针上焊上0.1μF的退耦电容，而且把5-24、6-23、10-19、11-18用导线连通。

用焊锡从转接板的 IC 焊点拖过去，把原有的镀锡层加厚。

把AD9850引脚小心涂上松香液，然后仔细对准到转接板的焊点位置。

烙铁温度不能过高，尖端沾少量焊锡，用尖头镊子压住IC，先点焊固定IC的最边上一个引脚。烙铁要对住IC引脚端点的转接板焊点，让焊锡熔化，然后略微往IC引脚上带一下，使IC引脚和转接板焊点可靠地焊起来，见题图，这可是个耐心细致的活。

逐一焊好，关键是烙铁上的焊锡不要过多，以免造成相邻引脚粘连。遇到粘连也不要紧，就在粘连处的引脚上用烙铁加热化锡，然后用一根坚硬的竹牙签从引脚间的焊锡上划过去即可把焊锡分开。再在两边引脚上加热，焊锡就会吸引到两边的焊脚上。除了D3～D6允许互联再接地（或正）外，其他引脚都不允许互联。

把贴片有源晶体用短导线引出，把它焊在转接板一侧。这样做虽然很不正规，但好处是灵活，如果把它在DDS板上4点焊死，那么想要更换晶体将会非常困难，现在把它挂在AD9850转接板的腰间，要更换就比较容易，而且如果要换用AD9851就连芯片和晶体一起换，毫不困难。

焊接完毕，必须进行测试。用万用表的低阻挡，逐根引脚测试，必须保证IC引脚和转接板插针根根连通，然后测试相邻引脚，必须保证没有互连。因为引脚很细小，对于短路、断路故障肉眼有时看不出来，必须用表量，直到故障点完全清除，成功就有保障了。

使用一小块万用板安装滤波器，两旁焊上插针排，分别用贴片电感和电容焊接。DDS板上焊装对应的两排插孔座，其中只有一排和电路连接，另一排空着。反正每次都是使用其中之一，要更换时，掉过头来插上就行了。

编程

程序还是使用AVRStudio4.12+WINAVR编制，液晶显示、键盘扫描和上次的完全相同。主程序中的按键处理部分，原先用于AD9833波形切换的按键，因AD9850不具备此项功能而改为全删功能，就是把数字键输入数值全部删除，因为要能够更换AD9850和AD9851，因此在启动时增加了检测开关S1位置，来决定随后是对哪种DDS芯片进行控制，整个流程也和上次AD9833的基本相同。只是在DDS的初始化、启动、停止、频率控制字计算几方面是完全不同的。下面着重说明频率控制字计算表的制作方法和启动、停止DDS的方法，其实DDS编程的核心也就是这两点。前者就是实现计算一个二维表-数组，来组合成频率字，后者就是按照DDS芯片的写数据方式，从单片机按要求发出数据和控制脉冲。

上次已经说明了一种频率控制字的计算方法，而且给出了参考时钟为25MHz的数据表，现在使用100MHz的参考时钟，也可以由公式$M=f\times 2^{32}/100000000=f\times 4294967296/100000000$，按照频率$f$用电子表格计算频率控制字$M$，重新编制数据表，具体做法就是：

先用办公软件（例如WPS电子表格）建立一个具有10列的电子表格，在A1单元格输入0，B1输入数字429496729.6（也就是计算10MHz的M值（$M=f\times 4294967296/100000000$），C1输入算式“=2*B1”，D1输入“=3*B1”以此类推，直到J1输入

附表

0	429496729.6	858993459.2	……	3865470566.4
0	42949672.96	85899345.92		386547056.64
0	4294967.296	8589934.592		38654705.664
0	429496.7296	858993.4592		3865470.5664
0	42949.67296	85899.34592		386547.05664
0	4294.967296	8589.934592		38654.705664
0	429.4967296	858.9934592		3865.4705664
0	42.94967296	85.89934592		386.54705664
0	19999999	33333333	……	E6666666
0	28F5C28	51EB851		170A3D70
0	418937	83126E		24DD2F1
0	68DB8	D1B71		3AFB7E
0	A7C5	14F8B		5E5F3
0	10C6	218D		96FE
0	1AD	35A		F19
0	2A	55		182

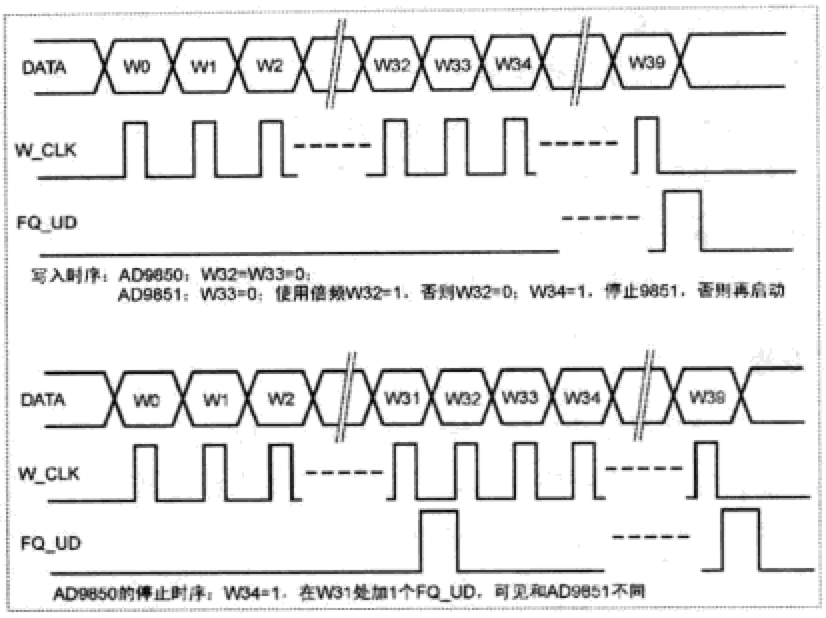


图4

"=9*B1"从而在第一行算出0，10MHz,20MHz……90MHz的频率控制字M。接着在下一行，A2单元输入算式"=A1/10"然后用复制-粘贴功能在第2行到第8行粘贴这个算式，立即就在各行得到0、1MHz……9MHz，0、100kHz……900kHz……0、1Hz……9Hz的M值。再用公式"=DEC2HEX（A1）"把十进制数转为十六进数。再用复制-粘贴方法一次把上面的数全部转换出来，如附表所示。

把最后的结果复制-粘贴到记事本上，前面添加0X，不足8位的加适当个数的0，数字之间添加英文逗号成为：

0,0X19999999,0X33333333,0X4CCCCCCC,…,0XE6666666

0,0XE6666666,0X028F5C28,0X051EB851,…,0X170A3D70

……

0,0X0000002A,…,0X00000182

这样就形成编程用的8行10列二维表了，第1行是十兆位的频率控制字（0、10兆、20兆……），第2行是兆位的控制字（0、1兆、2兆……），依此类推，第8行是个位的控制字（0、1、2……）。如果能把最后的结果参照前面的十进制数对小数部分对应的十六进制数作四舍五入调整当然最好，例如0X0000002A改成0X0000002B、0X00000055改为0X00000056等。以后再把这个表复制到程序中。

如果使用180MHz的AD9851是否又要重新来过呢？当然没有必要，因为这时还是32位频率控制字，只不过参考时钟频率提高了1.8倍，则对应的频率控制字$M_{180}=M_{100}/1.8$。

至于给DDS写入数据的方式，随芯片不同有些区别，实际上就是参考器件的数据页提供脉冲时序，然后控制单片机相应输出口的电平高低，模拟出脉冲序列加到DDS芯片即可。关于AD9850的启动和AD9851的启动-停止时序，以及AD9850的停止时序见图4。通过程序延时控制脉冲宽度。

在稳幅方面，使用的方法和以前一样，都是通过PWM控制AD603的增益实现，可以使AD9850和AD9851在10Hz到

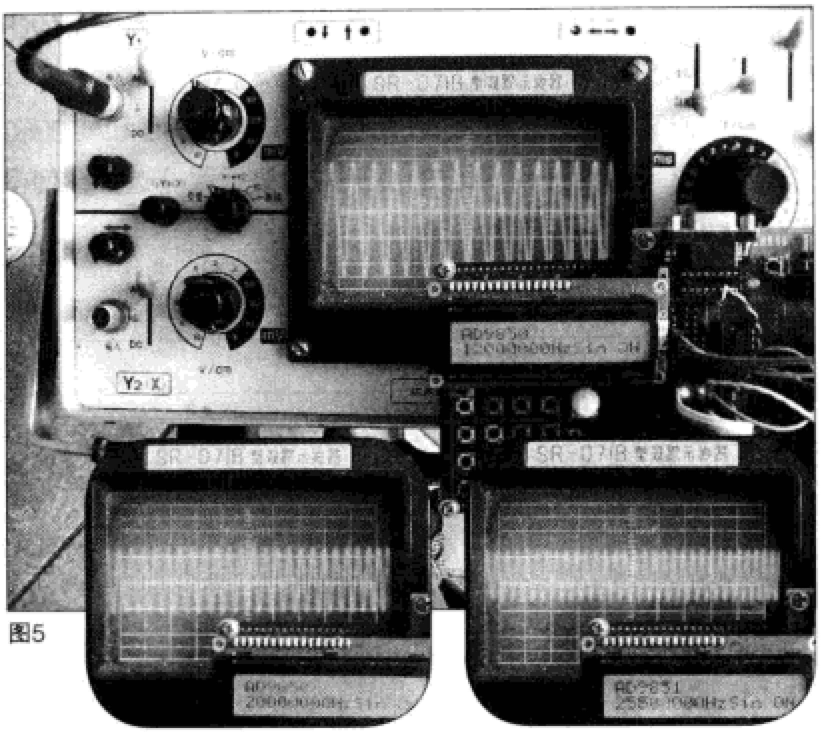


图5

图6

图7

10MHz范围内振幅稳定。但是15MHz以上振幅会随频率升高较快减小，也就不再稳幅了。

调试

因为这次仅仅是对DDS板做了局部增加，所以检查也就仅仅针对这些进行。确认连线正确，没有开路、短路；重点检查AD9850、AD9851的引脚以及滤波器输入、输出。

插上DDS板，先不插AD9850转接板和滤波器，开关S1打到下方，接通电源，DDS上的VDD 5V电压应该正常。液晶应该显示"AD9850"。S1打到上方，按复位按键，应该显示"AD9851"。断电，插上AD9850转接板和滤波器，S1打到正确位置，通电。和上次一样，用数字键输入频率值，液晶响应显示。在输出端接好示波器，按启动键，波形就应该出现，见图5。注意，如果S1的位置错误，是不会有输出的，改到正确位置后再人工复位一下就行了，总之必须在LCD上显示的DDS型号和实际的一致。

使用效果

由于使用了频率较高的DDS芯片，可以工作的频率比AD9833提高了很多。实际测试，对于AD9850，用100MHz晶体可以稳定输出35MHz，其中在12MHz以下幅度可以稳定在1.5V_{pp}，但是15MHz以上幅度就减小了，而且不可使用AD603调整，见图6。AD9851可以工作的频率更高，但幅度也下降，见图7。由于所用示波器的带宽不够，30MHz以上显示不好，实测可以到达50MHz，尽管幅度小，但还是稳定的。不过这样高的频率使用万用板实在有些勉强，最好还是选用大面积接地的双面印制板，使它在更高的频率稳定地工作。

编者按：一年前，本刊发表了魏坤撰写的“数字示波器DIY专题”系列文章，在电子爱好者中掀起了一股DIY数字示波器的热潮。随着便携式数字示波器在电子行业的广泛应用，国内外的示波器生产厂商不断改进技术，推出新的产品，如北京普源精电科技有限公司刚刚于2009年11月推出了国内第一台带宽高达1GHz的DS6000系列数字示波器，其实时采样率已达5GS/s。电子爱好者对电子世界的探索是永不满足、乐此不疲的，为了满足读者日益增长的需求，本刊特别邀请魏坤再次为读者介绍他近期的新作，看看一年来又有什么样的突破呢？相信期盼已久的DIY爱好者已经开始摩拳擦掌、跃跃欲试了！“想体验兴奋到失眠的感觉吗？”不要走开，马上阅读——

随着兴趣一路走来

◎魏坤

从我DIY的数字示波器在《无线电》2009年第1期上发表到现在整整一年了，在这一年中，我一直没有停止对示波器的设计制作，做了很多的版本，图1所示是当时发表的第一版，它其实相当于我做示波器的启蒙，虽然它功能简单体积大，也比较耗电，并不太实用，但也是一个五脏俱全的电路，对了解数字示波器的工作原理非常有帮助，第一版确定下来的电路结构我沿用了很长时间。现在我制作的第二版示波器已经完工，见图2，在新的一年来临之际，和电子爱好者们分享我的心得。主要功能和性能参数如下：

主要功能：

单通道，彩屏显示，存储回放功能，游标测量功能，频率，幅度自动测量，AC/DC耦合方式选择，实时/存储工作方式选择。

性能参数：

采样率： 60MS/s, 30MS/s, 15MS/s, 6MS/s, 3MS/s, 1.5MS/s, 600KS/s, 300KS/s, 150KS/s, 60KS/s, 30KS/s, 15KS/s, 6KS/s, 3KS/s。

垂直灵敏度：5mV/div，10mV/div，20mV/div，50mV/div，100mV/div，200mV/div，500mV/div，1V/div，2V/div，5V/div，10V/div，20V/div。

存储深度：8K。

整体尺寸：15cm×8cm×3cm。

功　耗：7.2V（两块锂电池），<300mA（最高速下）。

在做第一版和第二版之间我还用单色的LCD做了一个双通道的版本，见图4。这个版本的模拟前端设计得不太理想，也就没有做太多的修改，但是双通道版本的设计确定了双通道波形显示的方法和交替触发的实现，可以测试两个不同频率的信号并且保证两个信号都能稳定触发，这两种方法一直沿用到现在，而且双通道版本对第一版的时钟电路进行了改进，时钟按1-2-5的标准步进。

在做第二版之前一直使用的是单色的LCD显示器，价格很高（320×240将近300元），而且反应比较慢，导致波形的显示刷新率较低，只能达到每秒十几帧的速度，当然这也和所用的单片机有关。意识到单色LCD的这些缺陷后我开始学习TFT液晶显示器（以下简称TFT）的使用方法，尝试了很多种，其中驱动成功的有十几种，带图形显存控制芯片的如ILI9320、ILI9325、HX8347、SSD1289等，还有不带图形显存的如LQ043（PSP显示器，4.3英寸，见图3）。TFT的优点有很多，最突出的优点当然是它可以彩色显示，这能提供比单色LCD更多的信息量，特别是用于双通道波形的显示。还有就是TFT的出货量很大，所以价格很便宜，比如山寨手机的液晶屏，从2.0英寸到3.2英寸都有，分辨率多为320×240，有的是400×240，价格根据尺寸从60多元到100多元不等，只是这些TFT大多数是没有资料的，但是基本都是由上面介绍的那些驱动芯片驱动的，也比较好测试，所以从第二版开始全部使用TFT。

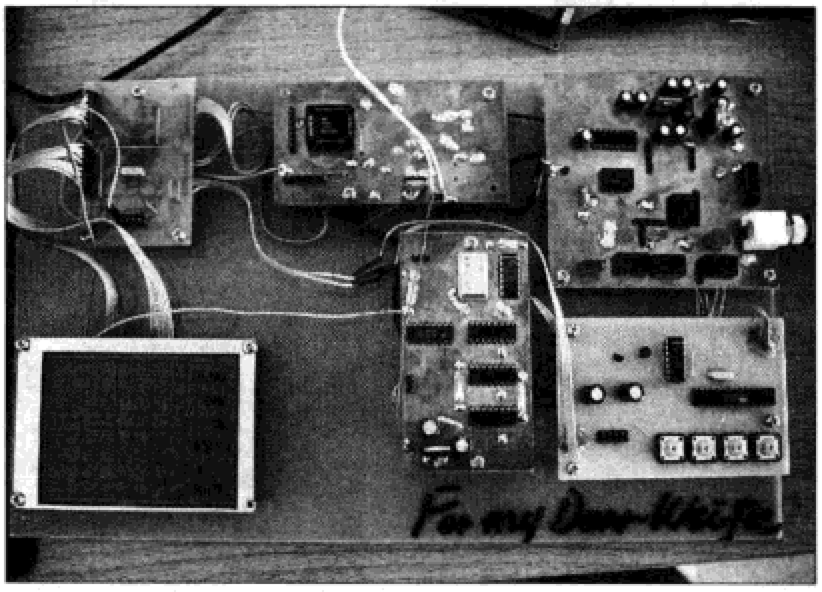


图1 第一版示波器

但是TFT也不是没有缺点，其中一个很大的缺点就是驱动所需的控制数据量很大。我们来计算一下，TFT的显示数据以点为单位，65k色的TFT一个像素需要16位（两个字节）的颜色数据，26万色的TFT一个像素需要18位的颜色数据，

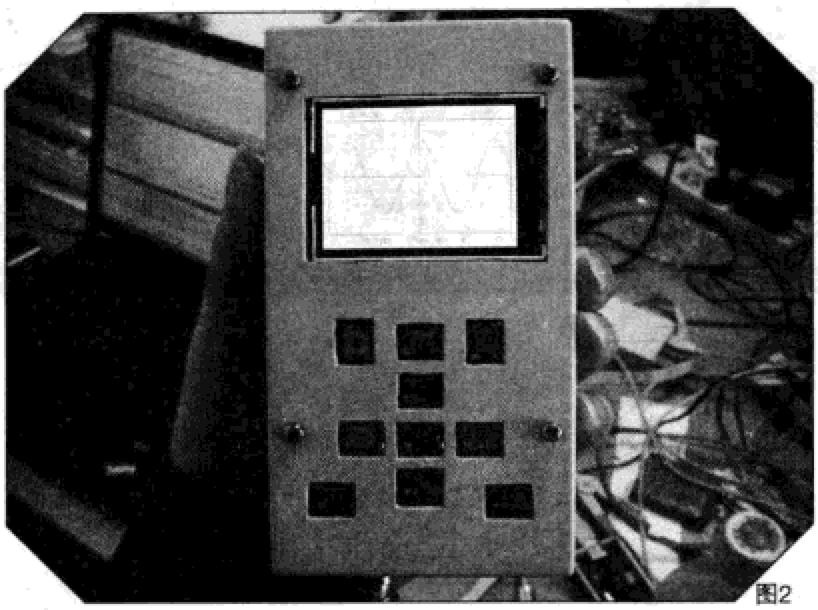


图2

图3

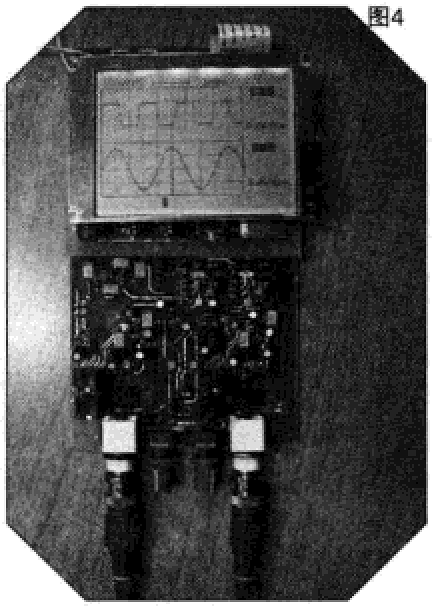


图4

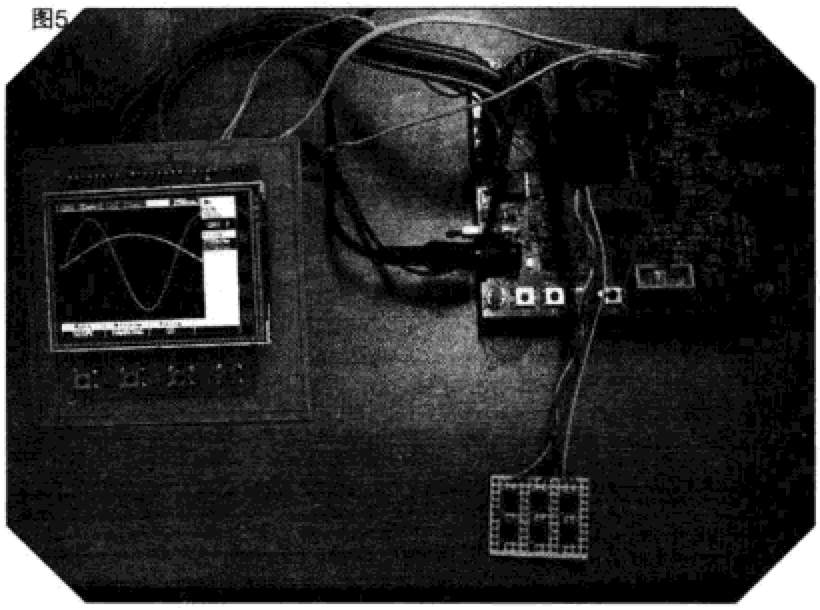


图5

图2 第二版手持示波器
图3 PSP液晶显示器（我和我女朋友）
图4 其间的双通道版本
图5 试验中的FPGA版示波器

1600万色的TFT一个像素需要24位（3个字节）的颜色数据，也就是说在同等像素下，基本的65k色的TFT所需的数据量也是单色LCD的16倍（单色LCD一个字节控制8个像素，而65k色的TFT两个字节控制一个像素）。因此TFT本身并不太适合用单片机驱动，这迫使我在控制上不断进行优化，最终用AVR单片机ATmega128驱动的第二版彩屏手持示波器实现了30帧/秒左右的屏幕刷新率，这种驱动方式在正在试验中的FPGA版本中一直沿用，使用FPGA后能将屏幕的刷新率提高到200帧/秒以上。

除了将显示由单色LCD改成了彩色TFT，第二版示波器在一些程度上沿用了第一版的结构，在模拟通道的程控放大和采样时钟发生电路上作了较大的改进，将程控放大由单纯的继电器切换型改成了由高分辨率DAC和压控放大器构成的模拟前端，性能有了较大的提升，带宽更宽，灵敏度更高，噪声更低。时钟电路舍弃了一堆数字电路，而是用DDS实现的，控制简单而且功耗更低。

对数字示波器来说显示器的改进只相当于是外观的进步，提升采样速率才会有质的飞跃，但是基于单片机、数字电路以及FIFO的结构在采样速率的提升上很难再有改进，所以我义无反顾地投身到了FPGA的学习当中。我觉得电子技术是一理通百理明的学问，我喜欢思考，在学习中我总是将我学到的东西尽量地和我所做的东西联系起来，这样我的学习目标非常明确。图5所示为试验中的FPGA版示波器，使用FPGA后，用两片美国国家半导体公司的ADC08200交替采样，将采样率做到了400MS/s（感谢尹飞编辑赠送的ADC08200），但是采样速率的提升也带来了一些很令人头疼的问题，如线路板上走线不等长、时钟的抖动等导致误码，但经过不断地学习和尝试，这些问题也都被解决了。我相信，随着采样速度的再提高，还会有更多的问题出现，但是我还是有信心的，至此我将目标定位为数字示波表。

我在做示波器的同时还不断看一些国际著名的仪器厂商的成熟产品的资料与介绍，当我看了泰克公司的数字荧光

不变的结构 优化的性能——硬件电路

◎魏坤

第二版的示波表与第一版示波器的总体硬件结构相似，但在几个局部做了较大的改进，电路由6部分构成，分别是程控衰减放大、采样存储、时钟产生、负压产生、控制处理、液晶显示。

总体架构

电路的系统框图如图1所示，与第一版相似，电路依然采用“双核”结构，两片AVR单片机协同工作，MCU2（ATmega128）用于控制处理、数据处理和显示控制，MCU1（ATmega16）用于控制扩展。两片单片机依然采用SPI总线通信，但MCU1被设置成SPI从机，而第一版MCU1（ATmega8）是被设为主机的，原因是ATmega128太强大了，轮不到ATmega16发号施令。

从图1可见，信号从探头输入，经交直流耦合选择后

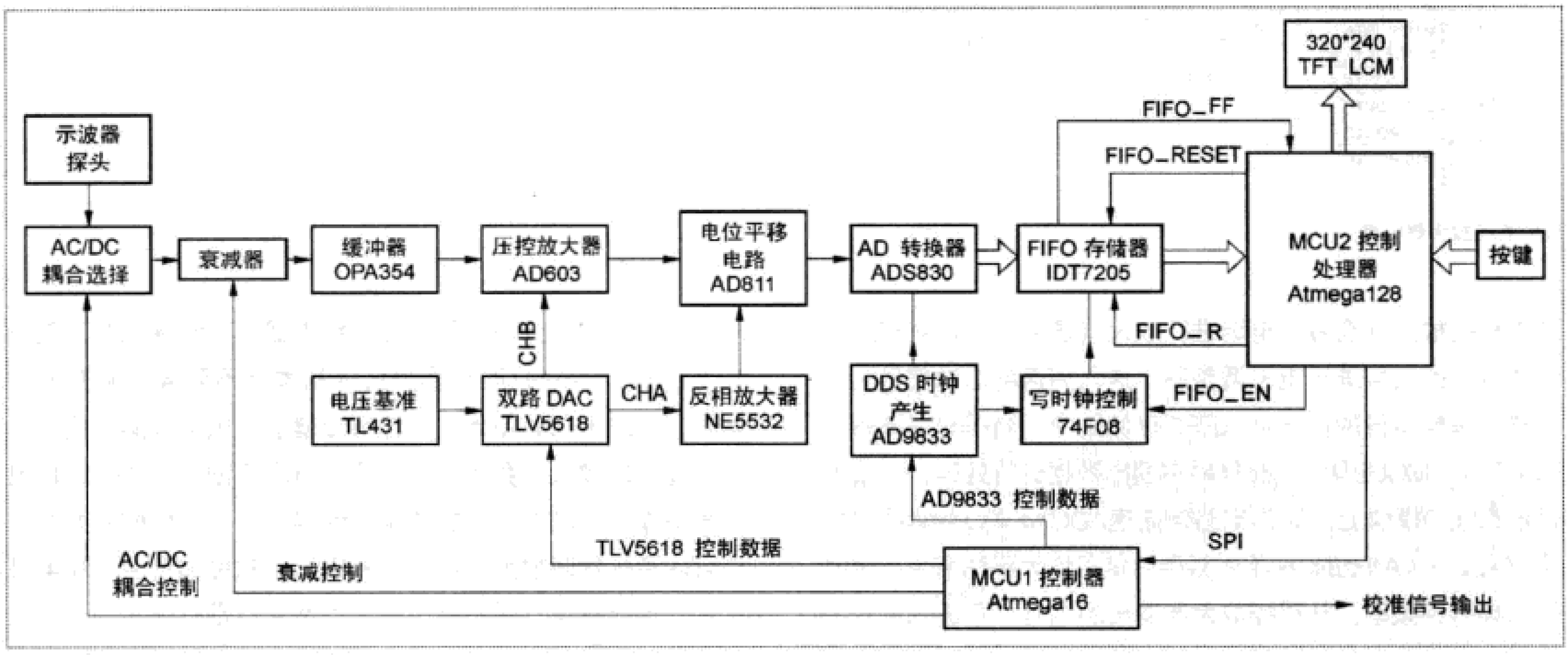


图1 系统框图

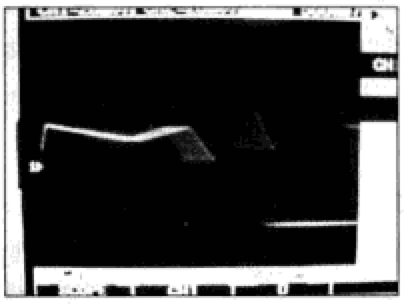


图6 数字荧光1

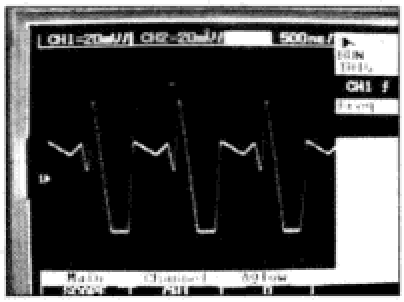


图7 数字荧光2

示波器的介绍后，我也用自己的方法实现了波形的荧光显示（见图6、图7），可以像模拟示波器那样以不同亮度显示，也可以像泰克公司那样根据信号的出现概率以光谱的形式显示。对新技术的了解使自己不致于在技术的道路上迷路，也能得到很多启发。

其间我还学习了一段时间的STM32-ARM处理器，但最后我还是放弃了，因为使用FPGA的Nios软核做控制不仅方便，功能也很强，可以外扩大容量的Flash和SDRAM，基本不用考虑内存的开销，最主要的是它是将逻辑部分和控制核心做在了一个芯片内，大大降低了电路的复杂程度，FPGA版和将要做的第三版就是这种结构的，不同的是FPGA版是个试验用的版本，AD转换器使用的是两片美国国家半导体公司的ADC08200，板子上没有模拟前端，只相当于一块开发板。FPGA的使用不仅提高了高速数据的处理问题，而且还能将时钟电路以及数字触发系统全部做进去，节省很大的硬件开销。我现在正在做以FPGA为核心第三版示波表，如果进展顺利，这一版的示波表预计会在2010年的上半年在《无线电》上与大家见面。

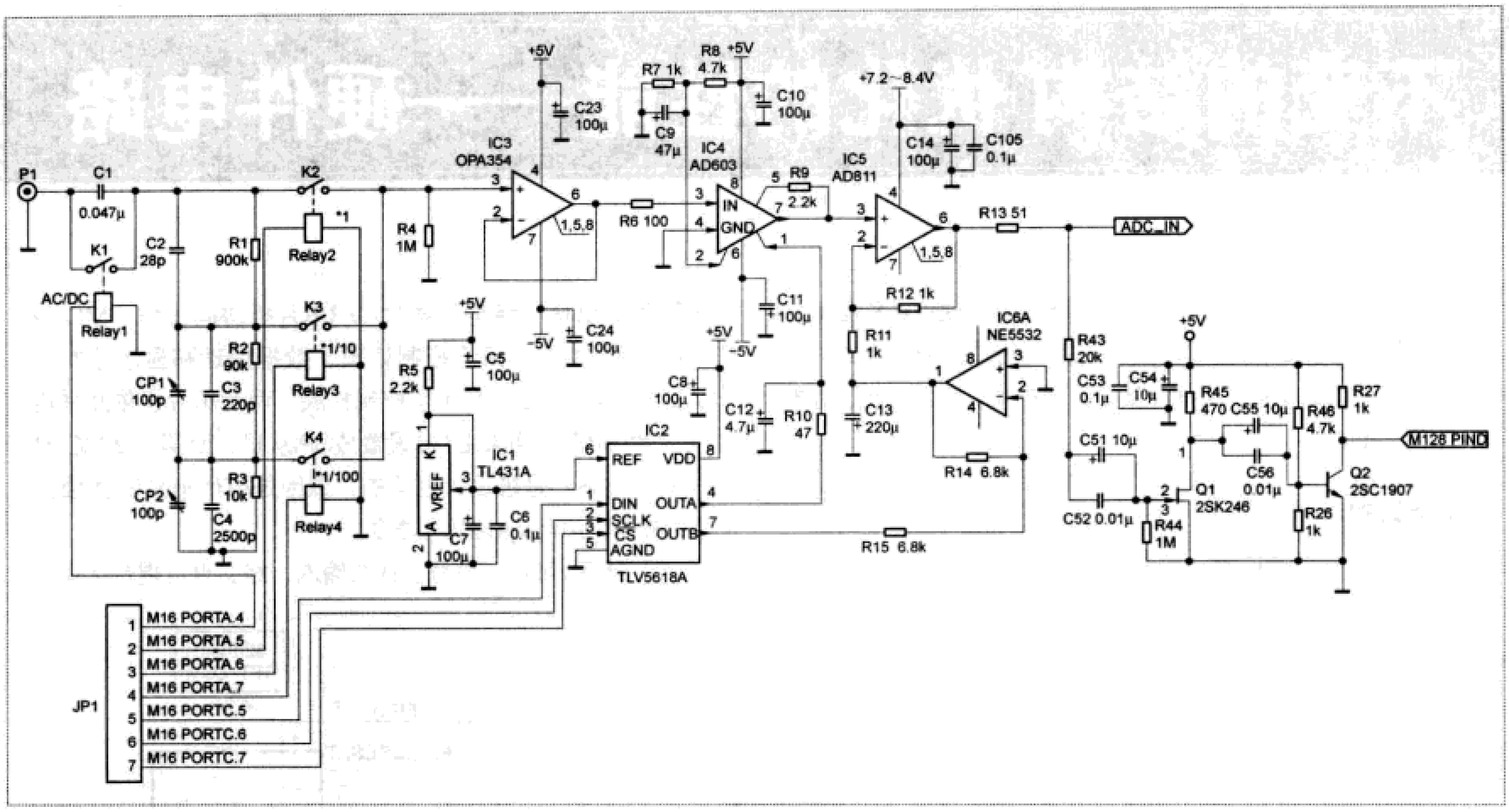


图2 程控放大器电路

送入程控放大（衰减）电路进行放大（衰减），再对被放大（衰减）的信号进行电平调整后，送入高速ADC对信号进行采样，采样所得的数据存入FIFO存储器中，当FIFO存满后通知MCU2，MCU2从FIFO存储器中读出数据进行处理，将波形显示在LCD模块上。时钟电路为高速ADC和FIFO存储器提供从1.5kHz～30MHz的8种不同频率的信号作为不同水平扫速时的采样时钟频率。从程控放大器输出的信号一路送入ADC，另一路送入整形电路对输入信号进行整形，作为测频率的待测信号送入MCU2的16位计数器外部触发引脚T1（PD6），进行频率测量。程控放大器的放大（衰减）倍数和时钟电路的输出频率均由MCU1控制，MCU1的控制依据为MCU2发送的控制数据。

这篇文章中我会花较大的篇幅去描述模拟部分，单片机部分由于原理与第一版相差不大就不花太多墨水了。

程控衰减放大

程控放大电路的作用是对输入信号进行衰减或放大调整，使输出信号电压在ADC输入电压要求范围内，达到最好的测量与观察效果。这个示波表的程控放大电路与第一版电路有很大区别，第一版的程控放大电路对放大衰减倍数的控制完全通过继电器的切换实现，耗电量大、噪声大而且特殊阻值的元件不太好找，而该示波表上的程控放大器只有在输入整数倍衰减部分使用了干簧管继电器，这种继电器不仅功耗低（5V，7mA）而且噪声低（基本听不到吸合断开的声音），而放大部分使用了压控可变增益放大器和高精度DAC的结构，即放大倍数由DAC的输出电压控制，而DAC的输出电压由单片机的控制数据决定。这样一来，不仅控制方便而且可以用软件对放大倍数进行补偿，控制更加灵活，耗电量更低，性能是第一版不能比的，当然它也是有弊端的——成本远高于上一版电路，但因为整体设计的优化，总的成本还是低于上一版的，下面就简单描述一下原理。

程控放大器电路如图2所示，被测信号从BNC插孔输入，Relay1继电器决定输入耦合方式，Relay1吸合为直流耦合，断开为交流耦合。信号通过交直流耦合选择开关后被送入由R1～R3、C2～C4和CP1、CP2组成的×1、×1/10、×1/100的衰减电路，衰减倍数由Relay2～Relay4控制。当Relay2吸合时不对信号进行衰减，当Relay3吸合时对应的衰减倍数为0.1，Relay4吸合时对应的衰减倍数0.01，C2～C4和CP1、CP2的作用是对高频信号进行补偿。这里我将就补偿多解释一点，因为第一版的介绍中忽视了这一部分，有读者朋友在邮件中提出了这一点，所以有必要解释一下。

由于经常要观测幅度较小的电压波形信号，示波器的灵敏度设计得较高，但当需要观测幅度较大的信号时，就必须接入衰减器。对衰减器的要求是输入阻抗高，同时在示

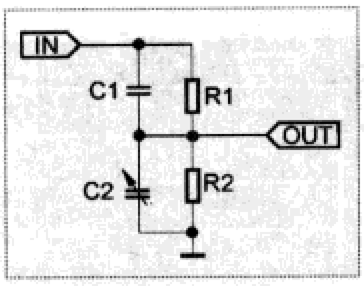


图3 阻容补偿式分压电路

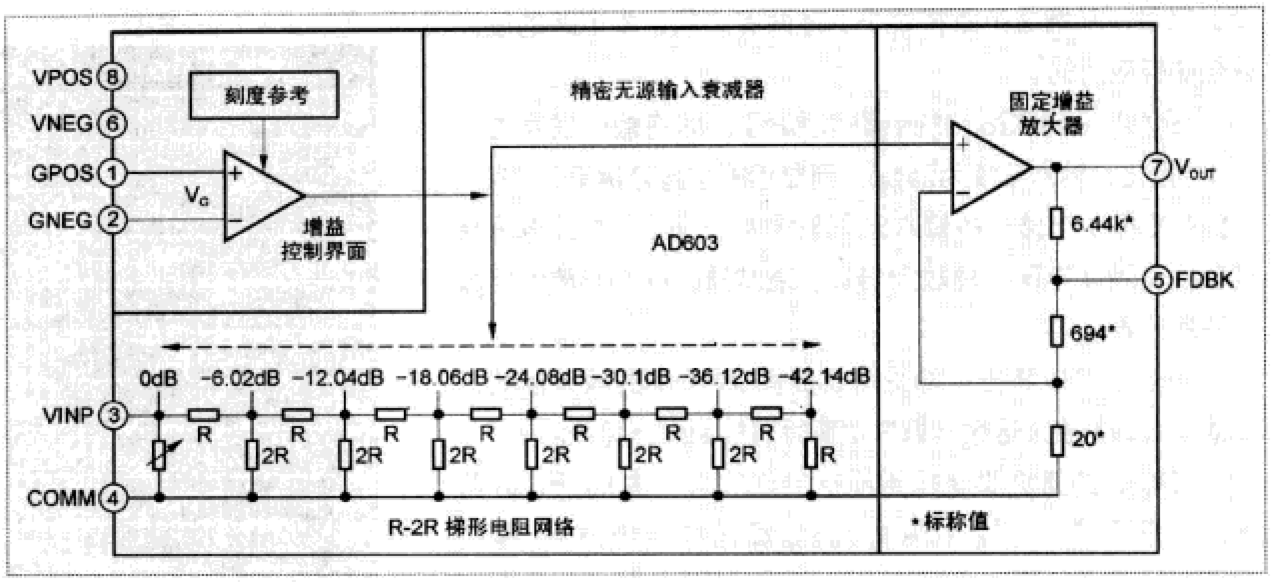


图4 AD603原理框图

波器的整个通频带内衰减的分压比均匀不变。要实现这样的要求仅采用电阻分压是达不到目的的。因为在下一级的输入以及引线都存在分布电容，这个分布电容的存在对被测信号的高频分量有严重的衰减，造成信号的高频分量的失真（脉冲上升时间变慢）。为此必须采用如图3所示的阻容补偿式分压电路，图中R1、R2为分压电阻（R2包括下一级的输入电阻），C1、C2为补偿电容（C2包括下一级的输入电容）。调节C2，当满足$C1R1=C2R2$时，分压比K在整个通频带内是均匀的，它被表示为$K=R2/(R1+R2)=C1/(C1+C2)$，这样的分压电路做成的衰减器就可以无畸变地传输窄脉冲信号，仅仅是信号幅度变为原来的1/*K*。

大多数示波器的输入电阻R_i都设计在1MΩ左右，它的大小主要决定于R1，因为$R_i=R1+R2$，而R1远大于*R*2。输入电容C_i为C1和C2的串联值和引线的分布电容C0的并联值 $C_i=C1C2/(C1+C2)+C0$。本示波表的输入电阻R_i=1MΩ，输入电容C_i=25pF。

经过衰减的信号进入由高速运算放大器IC3组成的缓冲器缓冲。说到缓冲，我再多啰嗦一点，缓冲器其实就是一个输入阻抗很高而输出阻抗较低的放大倍数为1的放大器，在学习模电时通常用三极管搭成共集电极电路作缓冲器。既然没有放大作用为啥还要它，而且还要用性能优良的芯片？原因很简单，因为示波器探头接入电路不能影响电路的正常工作。如果输入电阻过小，就相当于在被测点两端并联上了一个电阻，将导致被测点两端分压特性的变化，从而影响工作点，这样测量结果就不准确了。而如果示波器的输入阻抗很高，那么并联在被测点两端就相当于开路，对被测无影响，所以输入阻抗必须得高。又有问题了，因为一般的高速运算放大器的输入电阻一般比较低，像该电路中使用的AD603可控增益放大器的输入电阻仅为100Ω，很显然不能将经过衰减的信号直接送给它，因为经过衰减的信号内阻非常大，直接送入AD603会被严重衰减，所以要在衰减器和AD603之间加上由FET输入型运放构成的缓冲电路，然后信号才被送入由IC4组成的同相压控放大（衰减）电路，放大倍数由DAC芯片TLV5618通道B的输出电压控制。

在IC3 OPA354和IC4 AD603之间串联一个100Ω的电阻R6是对信号进行衰减用的，因为IC4的输入电阻为100Ω，而IC3的闭环输出阻抗仅为0.05Ω，若将此输出阻抗忽略，则R6就可以等效为U3的输出电阻，这样在IC4的输入端得到的电压U_i=（1/2）U_o，故对IC3的输出信号进行了2倍的衰减。衰减的原因和量程有关系，后面会详细介绍。

在进行电路设计时，充分了解器件特性是非常必要的，AD603是低噪、90MHz带宽增益可调的集成运放，如增益用分贝表示，则增益与控制电压成线性关系。引脚间的连接方式决定了可编程的增益范围，增益在-11～+30dB时的带宽为90MHz，增益在+9～+41dB时具有9MHz带宽，改变引脚间的连接电阻，可使增益处在上述范围内。简化原理框图如图4所示。

AD603由无源输入衰减器、增益控制器和固定增益放大器三部分组成。图中加在梯型网络输入端(VINP)的信号经衰减后，由固定增益放大器输出，衰减量是由加在增益控制接口的电压决定。增益的调整与其自身电压值无关，而仅与其差值V_g有关，由于控制电压GPOS/GNEG端的输入电阻高达50MΩ，因而输入电流很小，致使片内控制电路对提供增益控制电压的外电路影响减小。以上特点很适合构成程控增益放大器。图中的“滑动臂”从左到右是可以连续移动的。当VOUT和FDBK两引脚的连接不同时，其放大器的增益范围也不一样。

当两引脚短接时，AD603的增益为$40V_g+10$，这时的增益范围为－10～30dB，当两引脚断开时，其增益为$40V_g+30$，这时的增益范围为10～50dB。如果在两引脚之间

接上电阻，其增益范围将处于上述两者之间，本电路的设计就是这样应用的。

因为ADC ADS830的分辨率为8位，即将输入信号进行256份量化，输入幅度为2Vpp，而显示的垂直分辨率为192，即为ADC的0.75倍，故输入电压范围为1.5Vpp，由此得垂直灵敏度、满度电压、总放大倍数、衰减量、AD603放大倍数的关系见表1。

由表中可以看出AD603需要提供6种不同的放大倍数，根据AD603的放大倍数计算方法算得其控制电压见表2。

AD603 的第 2 脚电压为恒定的 0.877V，由 R7 和 R8 两电阻分压所得，表 2 中由 V_g 和 V_{gn} 算出控制电压 V_{gp} 需由 DAC TLV5618 提供。在 IC4 AD603 和 IC3 OPA354 之间串联 100Ω 电阻对信号进行 2 倍衰减，是因为 IC5 AD811 组成的是同相电平平移电路，具有 2 倍的放大倍数，为了计算方便故在 AD603 前插入了 2 倍的衰减，保证放大计算时只考虑 AD603 的放大倍数。

TLV5618是TI公司生产的12位电压输出型DAC芯片，具有两个输出通道，数据传输接口为3线制的串行传输接口。每次传输数据由16位的数据组成一帧，其中4位控制命令，12为输出数据。TLV5618的内部原理框图如图5所示。

TLV5618的输出经过两个×2缓冲器，DAC的可编程建立时间可以优化速度与功耗的关系，在本电路中，由于不要求速度，所以使其工作在低速模式下以降低功耗。基本参数为：12位分辨率、双通道输出、可编程速度（建立时间）、兼容SPI串行接口、非线性度<0.5LSB、外部基准电压。

TLV5618的引脚功能如表3所示。

TLV5618输入数据字长为16位，由两部分组成，如表4所示，其中D15～D12为命令位，D11～D0为12位数据。

R1与R0一起组成对TLV5618内部寄存器的选择见表5。

当选择了写数据到DAC通道B、BUFFER或者DAC通

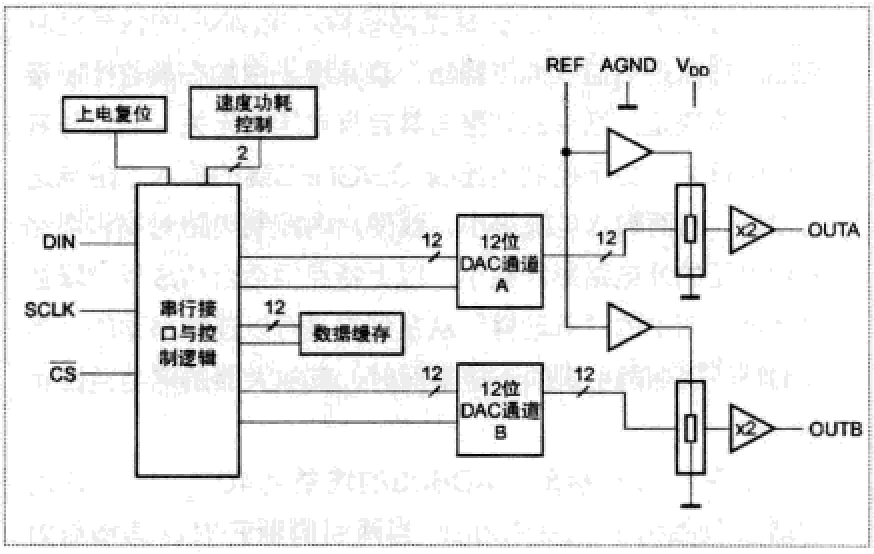


图5 TLV5618内部原理框图

表1 放大倍数关系表

垂直灵敏度	满度电压	总放大倍数	衰减量	AD603放大倍数
5mV	40mV	37.5	×1	37.5
10mV	80mV	18.75	×1	18.75
20mV	160mV	9.375	×1	9.375
50mV	400mV	3.75	×1	3.75
100mV	800mV	1.875	×1	1.875
200mV	1.6V	0.9375	×1	0.9375
500mV	4V	0.375	×1/10	3.75
1V	8V	0.1875	×1/10	1.875
2V	16V	0.09375	×1/10	0.9375
5V	40V	0.0375	×1/100	3.75
10V	80V	0.01875	×1/100	1.875
20V	160V	0.009375	×1/100	0.9375

表2

放大倍数	V_g	V_{gp} 1脚控制电压	V_{gn} 2脚固定电压
37.5	0.297V	1.174V	0.877V
18.75	0.142V	1.019V	0.877V
9.375	-0.011V	0.866V	0.877V
3.75	-0.210V	0.667V	0.877V
1.875	-0.365V	0.512V	0.877V
0.9375	-0.545V	0.332V	0.877V

表3 TLV5618的引脚功能

TERMINAL NAME	TERMINAL NO.	I/O/P	DESCRITION
AGND	5	P	模拟地
CS	3	I	片选信号，低电平有效
DIN	1	I	串行数据输入端
OUTA	4	O	DAC通道A电压输出端
OUTB	7	O	DAC通道B电压输出端
REF	6	I	基准电压输入
SCLK	2	I	串行时钟输入
VDD	8	P	电源输入

表4 TLV5618的数据格式

将写入TLV5618A的16位数据分为两部分：

- 编程位 （D15..D12）
- 新数据 （D11..D0）

D15	D14	D13	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
R1	SPD	PWR	R0	SMB			12Data bits						LSB	

SPD：速度控制拉 1→高速模式 0→低速模式

PWR：休眠模式选择位 1→休眠模式 0→正常工作

注：芯片上电后，自动将SPD和PWR位置0，即默认工作在低速正常模式下

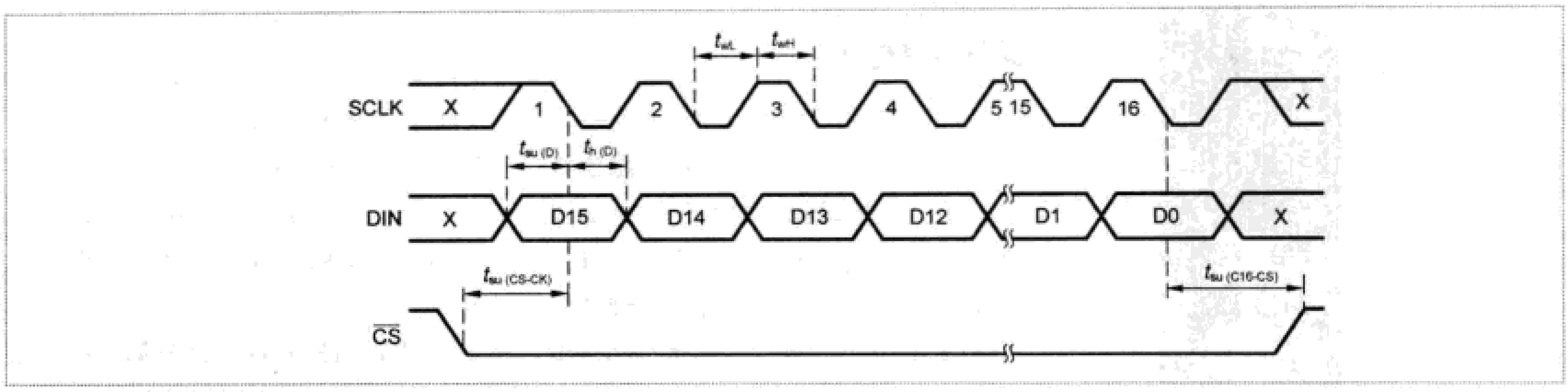


图6 TLV5618串行控制时序图

表6

符号	名称	最小值	典型值	最大值	单位
t_{SU}（CS-CK）	建立时间，从CS有效到SLCK的第一个下降沿的时间	10	–	–	ns
t_{SU}（C16-CS）	建立时间，从SCLK的第16个下降沿到CS为高的时间	10	–	–	ns
t_{WH}	SCLK一个周期中的高电平时间	25	–	–	ns
t_{WL}	SCLK一个周期中的低电平时间	25	–	–	ns
t_{SU}（D）	建立时间，数据有效到SCLK下降沿的时间	10	–	–	ns
t_H（D）	建立时间，SCLK下降沿到数据无效的时间	5	–	–	ns

表5 寄存器选择位

R1	R0	寄存器
0	0	写数据到DAC通道B和数据缓存
0	1	写数据到数据缓存
1	0	写数据到DAC通道A并将数据缓存中的数据从DAC通道B输出
1	1	保留位

表7

通道B输出电压（V_{gp}）	理论DAC数据	实际DAC数据
1.174V	961	960
1.019V	833	830
0.866V	709	707
0.667V	456	454
0.512V	419	415
0.332V	271	270

道A，则16位数据字中的后12位（D11～D0）为要写入的数据。

写数据到TLV5618的时序如图6所示。

其中各个延时时间的说明见表6。

在图2中可看到，由IC1 TL431为TLV5618提供2.5V的基准电压，TLV5618的A通道用于电平平移电路的平移电压输出，B通道的输出用于控制AD603的放大倍数。根据表2中已经算出来的TLV5618所需输出的控制电压按公式V_{out}＝2V_{ref}CODE/0X1000（其中V_{ref}＝2.5V，0X1000＝4096）推算出控制数据，数据见表7。在实际的电路中有一定的误差，所以表中还给出了实际调试确定的最终数据。因为器件误差，仿制时可能会出现数据有所偏差。这是正常现象，但如果偏差严重，就应考虑是否是电路连接的问题了。

因为 ADS830 的输入电压范围是 1.5 ~ 3.5V，所以输入中点电压为 2.5V，故通道 A 要提供一个 2.5V 的平移电压。电平平移电路由 IC5 和 IC6A 完成，IC6A 的作用是对 DAC 通道 A 输出的电压进行反相放大，放大倍数 A_u=-$R$14/$R$15=-6.8k/6.8k=-1，其实就是对电压进行翻转，使之成为负电压，因为平移电平馈入点在 IC5 的反相输入端，所以 IC5 对平移电压进行反相放大，放大倍数为 A_u=-$R$12/$R$11=-1k/1k=-1，而 ADC 需要的平移电压为正的 2.5V，所以将 DAC 通道 A 输出的电压先进行翻转，再进行反转得到正的平移电压。C13 的作用是使平移电压馈入点对交流而言是对地短路的，即为 0 电平，使用 220μF 这样较大的容量是为了使其对低频有较小的容抗。因为放大器的输出电压中有 2.5V 的直流分量，如果 IC5 还使用正负 5V 电压供电可能导致信号动态范围受到影响，特别是在满幅输出时可能会出现削顶失真，所以 IC5 的正电源供电直接采用未稳压的电源电压，因为存在有深度负反馈，所以输出中点在电源电压的变化中还是可以稳定在 2.5V 的中点电压上。IC5 组成的电路对正相输入的信号进行同相放大，放大倍数为 A_u=（$R$11+$R$12）/$R$11=（1k+1k）/1k=2，即对从 IC4 输出的信号进行 2 倍的放大，所以在 IC4 之前串联 100Ω 的电阻进行 2 倍衰减。（未完待续）

不变的结构 优化的性能——硬件电路（续）

◎魏坤

采样存储电路

ADC电路和上一版没有差别，因为这个示波表的最高采样率限定在30MHz，所以输出数据和FIFO存储器之间没有加锁存器，其他完全一样。如果有不了解的可以参考《无线电》2009年第1期第一版文章中的介绍，电路如图5所示。

时钟电路

时钟产生电路为ADC提供一系列的采样时钟信号，分别为1.5kHz、3kHz、6kHz、15kHz、30kHz、60kHz、150kHz、300kHz、600kHz、1.5MHz、3MHz、6MHz、15MHz、30MHz，共14种，分别对应着水平扫速为20ms、10ms、5ms、2ms、1ms、500μs、200μs、100μs、50μs、20μs、10μs、5μs、2μs、1μs，由MCU1控制。

改版后的时钟电路与第一版有很大区别，主要是改用DDS产生时钟信号，而不是原来那样通过对晶体振荡器的信号进行分频得到不同的时钟频率。使用DDS产生时钟有几个好处，首先是功耗很低，时钟电路的总功耗为5V/20mA（包括AD9833、30MHz

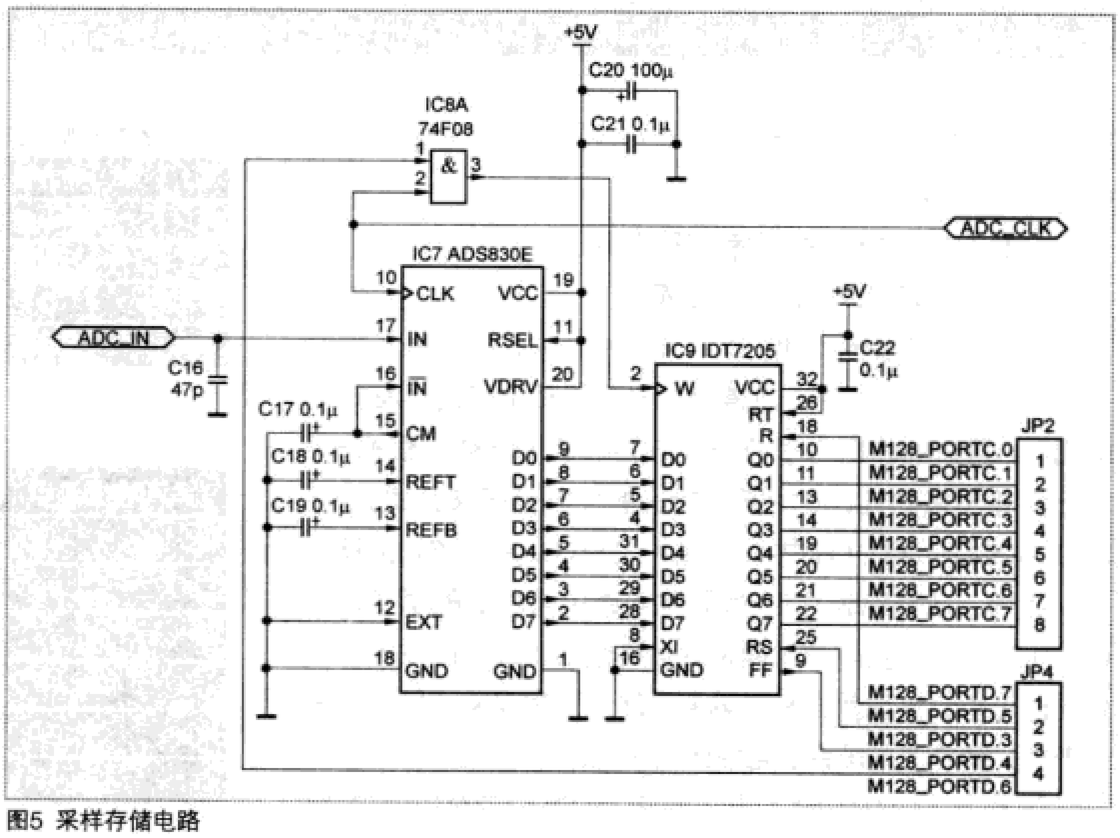


图5 采样存储电路

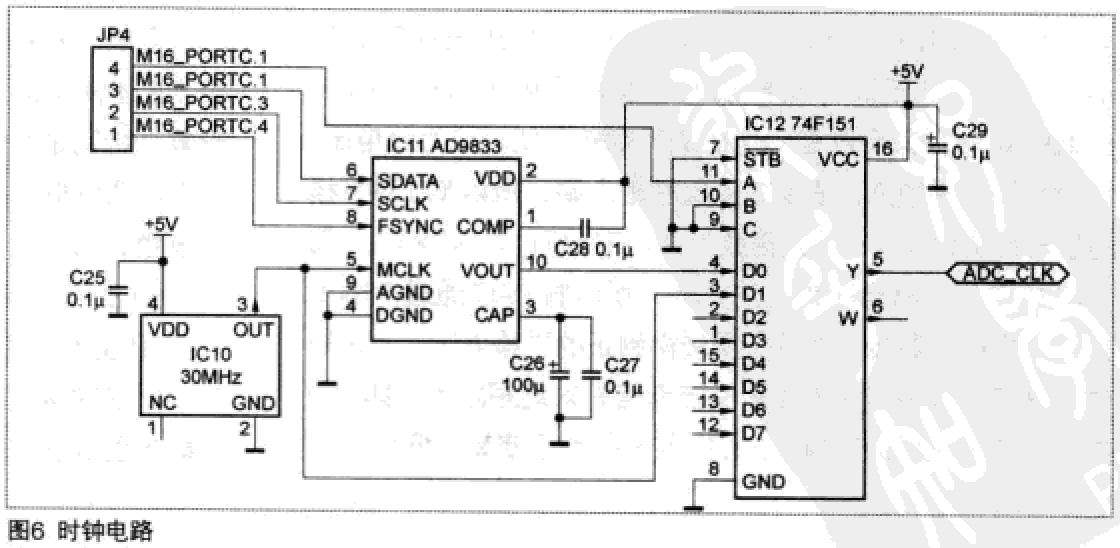


图6 时钟电路

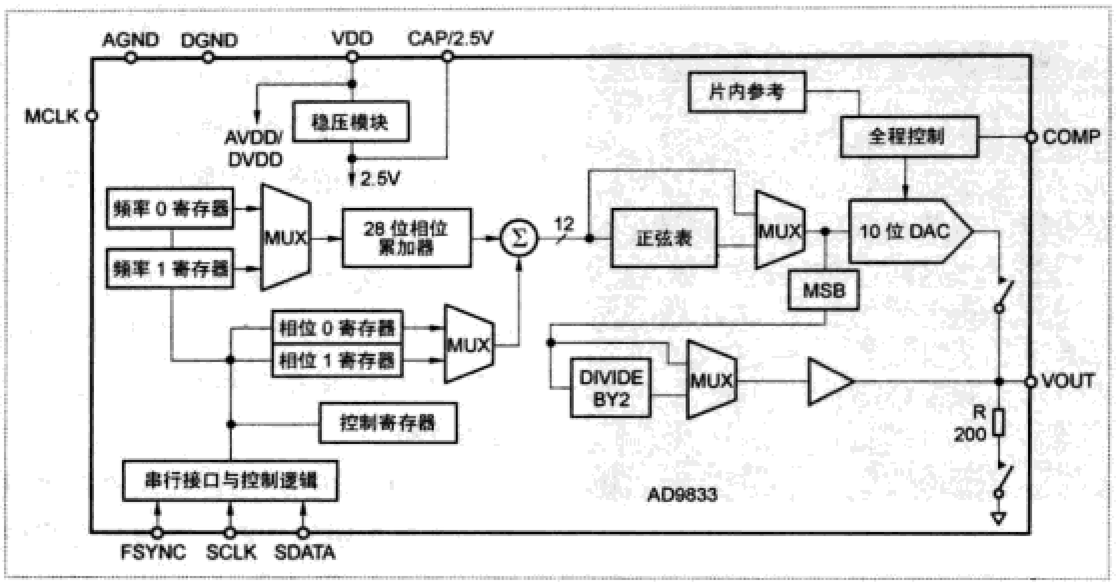


图7

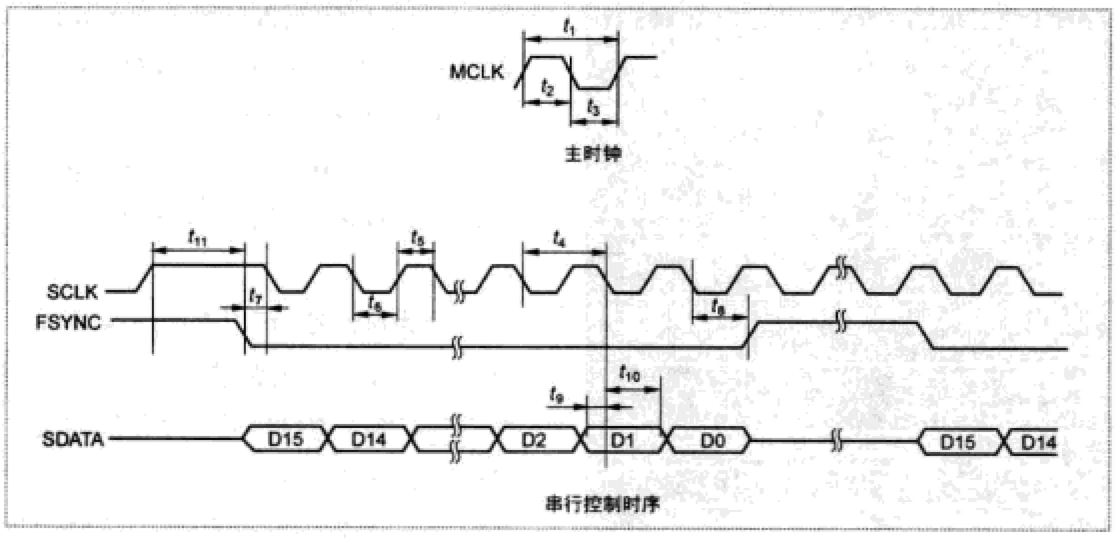


图8 AD9833的时序特性图

有源晶振和74F151），而第一版为近100mA。还有就是控制采用三线串行数据，控制更方便。电路如图6所示。

AD9833 是 ADI 公司生产的一款低功耗、波形可编程的 DDS 电路，能够产生正弦波、三角波和方波。AD9833 应用非常简单，无需外接元件，输出频率和相位都可通过软件编程，易于调节。频率寄存器是 28 位的，主频时钟为 25MHz 时，精度为 0.1Hz；主频时钟为 1 MHz 时，精度可以达到 0.004Hz。可以通过 3 个串行接口将数据写入 AD9833，这 3 个串口的最高工作频率可达 40MHz，易于与 DSP 和各种主流微控制器兼容。AD9833 的工作电压范围为 2.3 ~ 5.5V。它还具有休眠功能，可使未被使用的部分休眠，减少该部分的电流损耗。例如，若利用 AD9833 输出作为时钟源，就可以让 DAC 休眠。该电路采用 10 引脚 MSOP 型表面贴片封装，体积很小。AD9833 的主要特点如下：频率和相位可数字编程，工作电压为 3 V 时，功耗仅为 20mW，输出频率范围为 0 ~ 12.5 MHz（25MHz 主时钟），频率寄存器为 28 位（在 25 MHz 的参考时钟下，精度为 0.1 Hz），可选择正弦波、三角波、方波输出；无需外接元件，3 线 SPI 接口，温度范围为 -40 ~ +85℃。

AD9833 的内部电路主要有相位累加器、频率和相位寄存器、正弦表、数模转换器（DAC）、稳压模块以及串口逻辑控制电路，其功能框图如图 7 所示。

AD9833的核心是28位的相位累加器，它由加法器和相位寄存器组成，每来1个时钟，相位寄存器以步长增加，相位寄存器的输出与相位控制字相加后输入到正弦查询表地址中。正弦查询表包含1个周期正弦波的数字幅度信息，每个地址对应正弦波中0°～360°范围内的1个相位点。查询表把输入的地址相位信息映射成正弦波幅度的数字量信号，驱动DAC输出模拟量。相位寄存器每经过$2^{28}/M$个主时钟周期后回到初始状态，相应地正弦查询表经过一个循环回到初始位置，这样就输出了一个正弦波。输出正弦波频率为$f_{out}=M\ (f_{MCLK}/2^{28})$，其中，$M$为频率控制字，由外部编程给定，其范围为$0 \leqslant M \leqslant 2^{28}-1$。VDD引脚为AD9833的模拟部分和数字部分供电，供电电压为2.3～5.5V。AD9833内部数字电路工作电压为2.5V，其芯片上的稳压模块可以从VDD产生2.5V稳定电压。注意：若$V_{DD} \leqslant 2.7$ V，引脚CAP/2.5V应直接连接至VDD。

AD9833有3根串行接口线，与SPI、QSPI、MI-CROWIRE和DSP接口标准兼容。在串口时钟SCLK的作用下，数据是以16位的方式加载到设备上。AD9833的时序特性如图8所示。FSYNC引脚是使能引脚，电平触发方式，低电平有效。进行串行数据传输时，FSYNC引脚必须置低，要注意FSYNC有效到SCLK下降沿的建立时间t_7的最小值。FSYNC置低后，16个SCLK的下降沿数据被送到AD9833的输入移位寄存器，在第16个SCLK的下降沿FSYNC可以被置高，但要注意在SCLK下降沿到FSYNC上升沿的数据保持时间t_8的最小和最大值。当然，也可以在FSYNC为低电平的时候，连续加载多个16位数据，仅在最后一个数据的第16个SCLK的下降沿时将FSYNC置高。最后要注意的是，写数据时SCLK时钟为高低电平脉冲，但是，在FSYNC刚开始变为低时（即将开始写数据时），SCLK必须为高电平（注意t_{11}这个参数）。

表8 AD9833引脚功能

引脚号	符号	功能说明
1	COMP	DAC偏移引脚，该脚用来为DAC偏移解耦
2	VDD	电源引脚
3	CAP/2.5V	数字电路电源端
4	DGND	数字地
5	MCLK	数字主频时钟输入端
6	SDATA	串行数据输入
7	SCLK	串行时钟输入
8	FSYNC	控制输入，低电平有效
9	AGND	模拟地
10	VOUT	合成信号输出

表9 控制寄存器各位的功能

位	名称	功能
DB15		0
DB14		0
DB13	B28	对每个频率寄存器都要进行两次写操作。B28=1时，每个频率寄存器都做为完整的28位使用，需对每个寄存器进行2次连续写操作，先写低14位，后写高14位。前两位说明写入的是那个频率寄存器，01表示写入的是频率0寄存器，10表示写入的是频率1寄存器。B28=0时，每个频率寄存器都做为两个14位的寄存器，1个高14位，1个低14位，并且可以相互独立更改，由控制寄存器的DB12位确定写入的是高14位还是低14位
DB12	HLB	B28=1时，此位无效。B28=0时，若HLB=1，则允许写入选定寄存器的高14位，若HLB=0，则允许写入选定寄存器的低14位
DB11	FSELECT	该位指定频率寄存器0处于有效还是频率寄存器1处于有效。FSELECT=0频率寄存器0处于有效，FSELECT=1频率寄存器1处于有效
DB10	PSELECT	该位指定相位寄存器0处于有效还是相位寄存器1处于有效。PSELECT=0相位寄存器0处于有效，PSELECT=1相位寄存器1处于有效
DB9	保留位	该位应该设置为0
DB8	RESET	RESET=1则复位内部寄存器为0，RESET=0则禁止复位
DB7	SLEEP1	SLEEP1=1内部MCLK被禁止，DAC输出保持当前值，SLEEP1=0使能MCLK
DB6	SLEEP12	SLEEP12=1片内DAC休眠，SLEEP12=0片内DAC处于激活状态
DB5	OPBITEN	OPBITEN=1输出DAC的MSB/2或MSB,由DB3决定，OPBITEN=0直接从DAC输出，由DB1决定输出三角波还是正弦波
DB4	保留位	该位应该设置为0
DB3	DIV2	DIV2=1直接输出DAC的MSB，DIV2=0直接输出DAC的MSB/2
DB2	保留位	该位应该设置为0
DB1	MODE	该位与DB5配合使用，MODE=1输出三角波，MODE=0输出正弦波
DB0	保留位	该位应该设置为0

表10 频率和相位寄存器操作表

	DB15	DB15	DB15	DB15		DB0
相位寄存器0	1	1	0	*	MSB 12位相位数据	LSB
相位寄存器1	1	1	1	*	MSB 12位相位数据	LSB
	DB15	DB14				DB0
频率寄存器0	0	1	MSB 14位频率数据			LSB
频率寄存器1	1	0	MSB 14位频率数据			LSB

当AD9833初始化时，为了避免DAC产生虚假输出，RESET必须置为1（RESET不会复位频率、相位和控制寄存器），直到配置完毕，需要输出时才将RESET置为0；RESET为0后的8~9个MCLK时钟周期可在DAC的输出端观察到波形。

从给AD9833写入数据到输出端得到响应，中间有一定的响应时间。每次给频率或相位寄存器加载新的数据，都会经过7~8个MCLK时钟周期的延时之后，输出端的波形才会产生改变。有1个MCLK时钟周期的不确定性，因为数据加载到目的寄存器时，MCLK的上升沿位置不确定。

AD9833的各个引脚的功能描述见表8。

AD9833 内部有 5 个可编程寄存器，其中包括 1 个 16 位控制寄存器，2 个 28 位频率寄存器和 2 个 12 位相位寄存器。

AD9833中的16位控制寄存器供用户设置所需的功能。除模式选择位外，其他所有控制位均在内部时钟MCLK的下降沿被AD9833读取并动作。表9给出控制寄存器各位的功能。要更改AD9833控制寄存器的内容，DB15和DB14位必须均为0。

AD9833包含2个频率寄存器和2个相位寄存器，具体的操作如表10所示。

因为AD9833可以产生正弦波、三角波和方波，本电路使用AD9833直接产生方波作为时钟信号。使用30MHz主时钟振荡器时可以产生最高15MHz的方波信号，所以由AD9833产生15MHz及以下频率的采样信号，而30MHz的采样信号由30MHz的晶体振荡器直接提供。切换由74F151通过地址线切换，因为74F151只作两路切换，所以高两位地址数据置0，只用最低位进行切换。当74F151作地址线A位为高电平时选择30MHz的晶体振荡器的时钟信号，此时可以将AD9833设置为休眠模式以降低功耗。当74F151的地址线A位为低电平时选择由AD9833产生的时钟，因为输出的是方波所以将片内DAC置为休眠。至于产生哪个频率的采样时钟由控制数据决定。

电源电路

与第一版相比，这一版的电源有了较大的改进，主要是在负压产生电路，没有使用第一版的开关型 DC/DC 变换电路，采用了电荷泵型 DC/DC 变换电

路，见图 9。与开关型 DC/DC 电路相比，电荷泵型 DC/DC 电路的电磁干扰要小得多，而且效率更高（高于 95%），最主要的原因是换能方式不同。开关型 DC/DC 是通过电磁转换的方式进行能量变换，而电荷泵的换能方式就要简单得多，就是先对电容充电，充满电后放电，在放电时将电源的正负极转换一下，输出就变成了负电压。当然电荷泵的缺点也是比较明显的，就是它的输出电流较小，单只 ICL7660 的最大输出电流仅为 20mA，所以本电路使用了两片 ICL7660 并联以提高电流输出能力。

ICL7660在空载时输出电压的绝对值与输入电压的绝对值相等，即在空载情况下输入+5V电压，可以输出-5V电压，但是在接入负载后，输出电压就开始下降了，随着输出电流的增大而降低。所以本电路中输入的电压为两节锂电池的电压（7.2～8.4V），输出使用79L05将电压稳定到-5V。

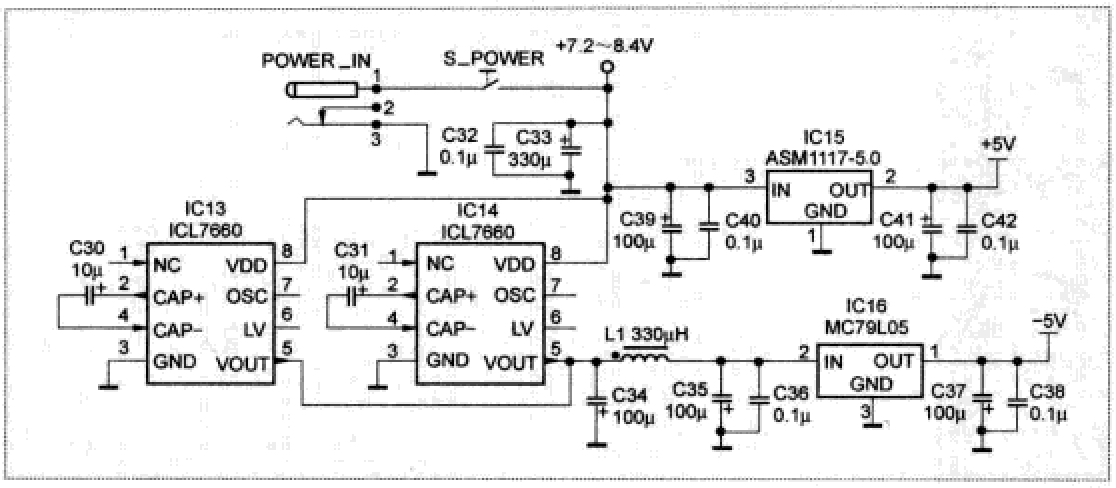


图9 电源电路

处理器电路

处理器电路如图10所示，两个芯片使用SPI方式通信，工作原理与上一版相同，这里就不多说了，为了工作稳定两个单片机振荡电路均用有源晶振提供。

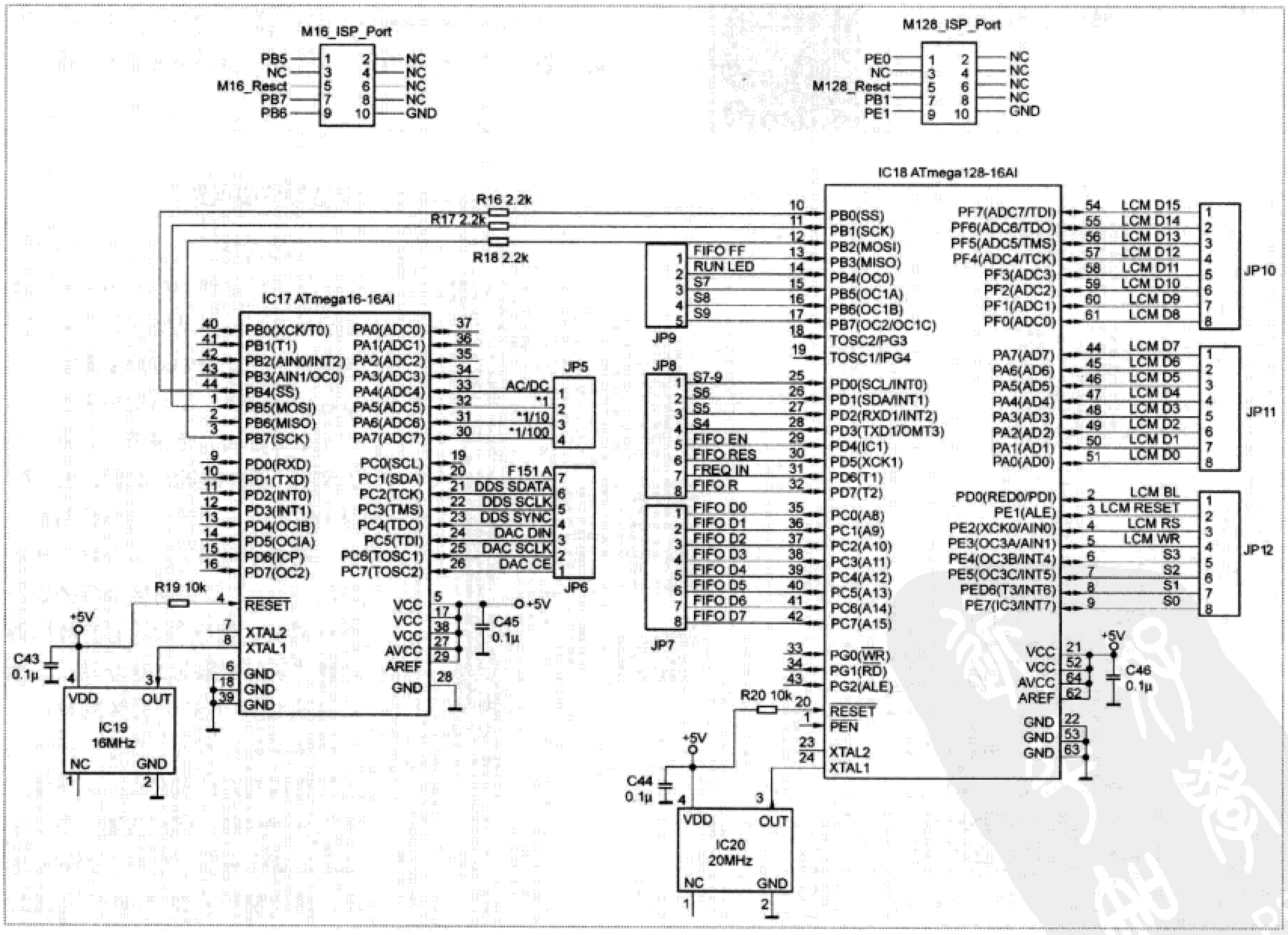
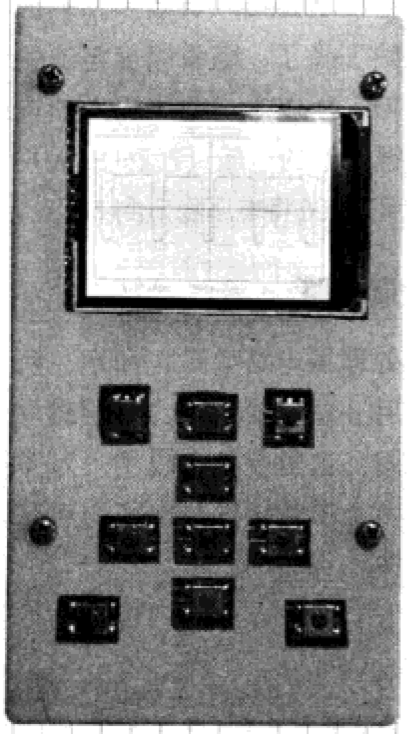


图10 处理器电路

电路制作与调试

◎魏坤 何江海



电路的调试其实非常简单，比上一版要简单很多，只需调整信号输入衰减电路的补偿电容，使衰减电路工作正常即可，具体的方法可以参考2009年第1期《无线电》的第63页，有详细的说明。电源部分使用的稳压芯片都是固定电压的，所以只要安装无误无需调试，负压的转换也没有像上一版使用MC34063，现在使用的ICL7660也是不需要调整的。放大部分的增益控制是数字控制的，所以也是不需要调整的。下面给出这个示波表各电路板的PCB和实物中各模块的照片。整个电路的组成见图1。

采集模块

为了方便实验，我将采集电路做在了一个模块上。之所以将采集电路用双面板做成一个较小的模块，是因为大面积的双面板在业余条件下不太好加工，面积大了孔不太好对准，导致做出来的板子焊盘对不上，PCB图见图2，实物照片见图3。其他的PCB都是单面的，采样模块是直接焊接在主板上的，当然如果有足够大的空间也可以用插针连接，但是直接焊接比较可靠。如果是让工厂加工PCB的话，还是将衰减电路、采样电路以及控制电路做在一个板子上比较好，图4是我重新画的板子并由工厂加工的，做出来的效果还是很不

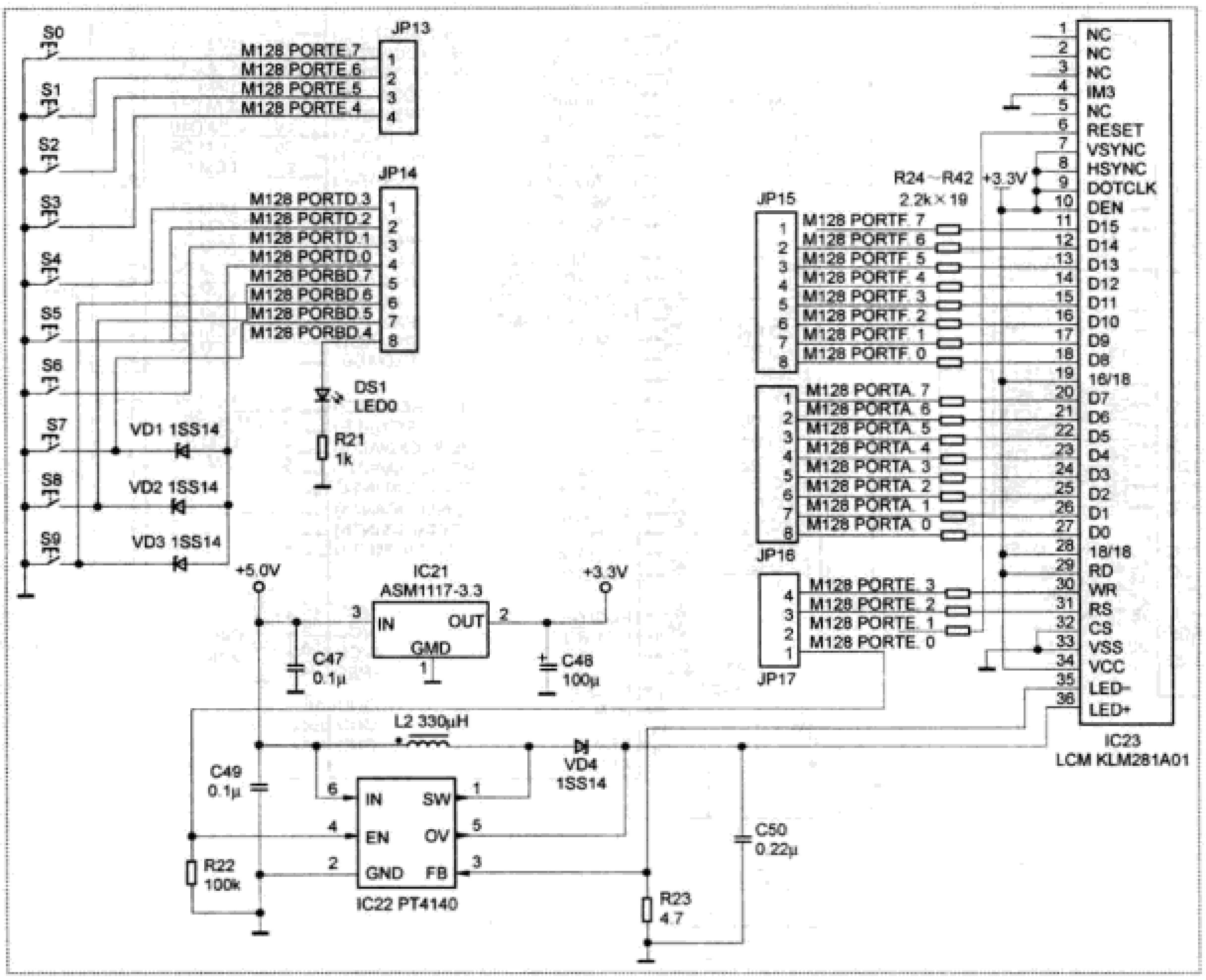


图11 液晶与按键电路

液晶与按键电路

电路见图 11，与上一版不同，这一版的液晶使用的是 TFT 彩色液晶显示器，分辨率为 320×240 点，与单色屏相比它响应速度更快，更适合做示波器，而且价格更低，只需 100 元左右。但是 TFT 屏也有它的弊端，驱动需要的数据量更大了，原先的单色 LCD 一个字节控制 8 个点，现在使用 TFT 屏两个字节才能控制一个点，这就导致同样的显示面积需要达到原先 16 倍的数据吞吐量才能保证屏幕的刷新率。虽然单片机使用了资源更多的 M128，但是速度并没有大的提升，所以就需要在控制方面做文章，这将作为重点在软件部分详细描述。由于液晶屏的背光需要 12V 左右的驱动电压，所以使用 IC22 PT4140 升压为其提供背光驱动电压。

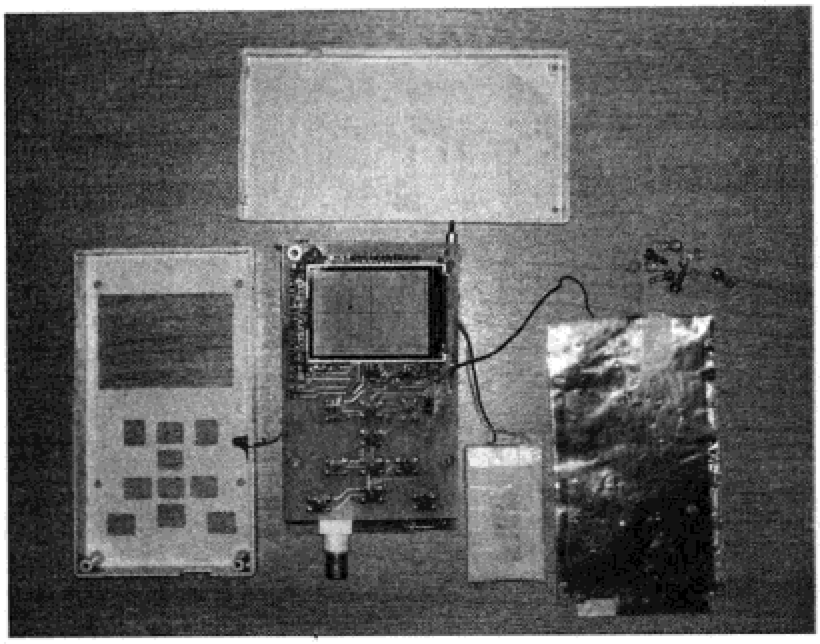


图1 整体

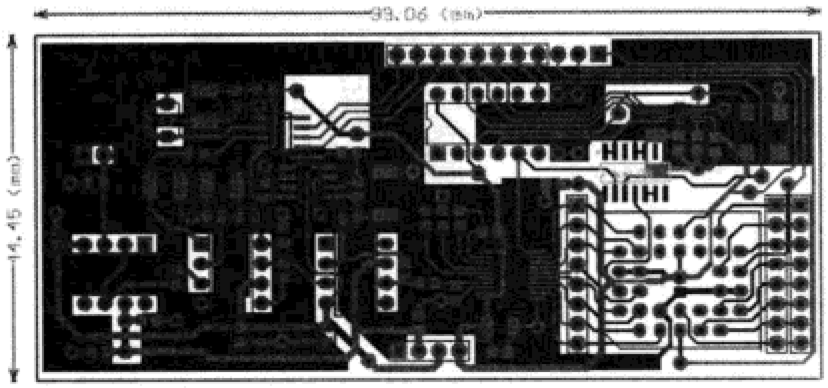


图2 采样模块PCB

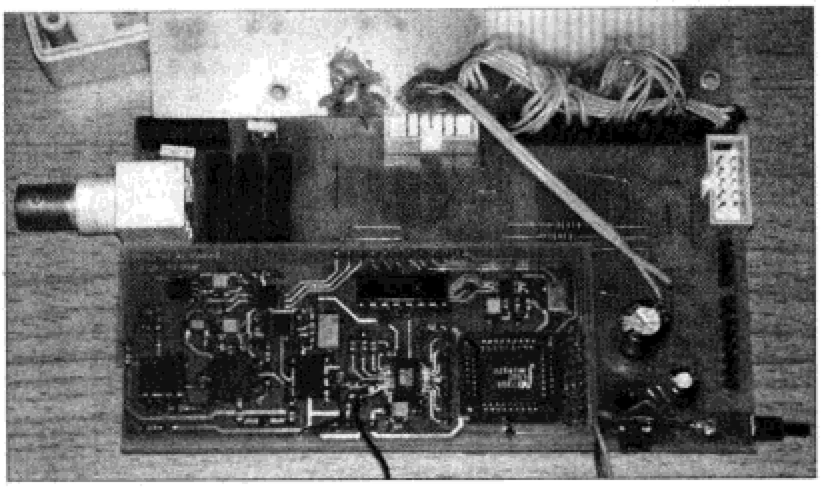


图3 采样模块实物照片

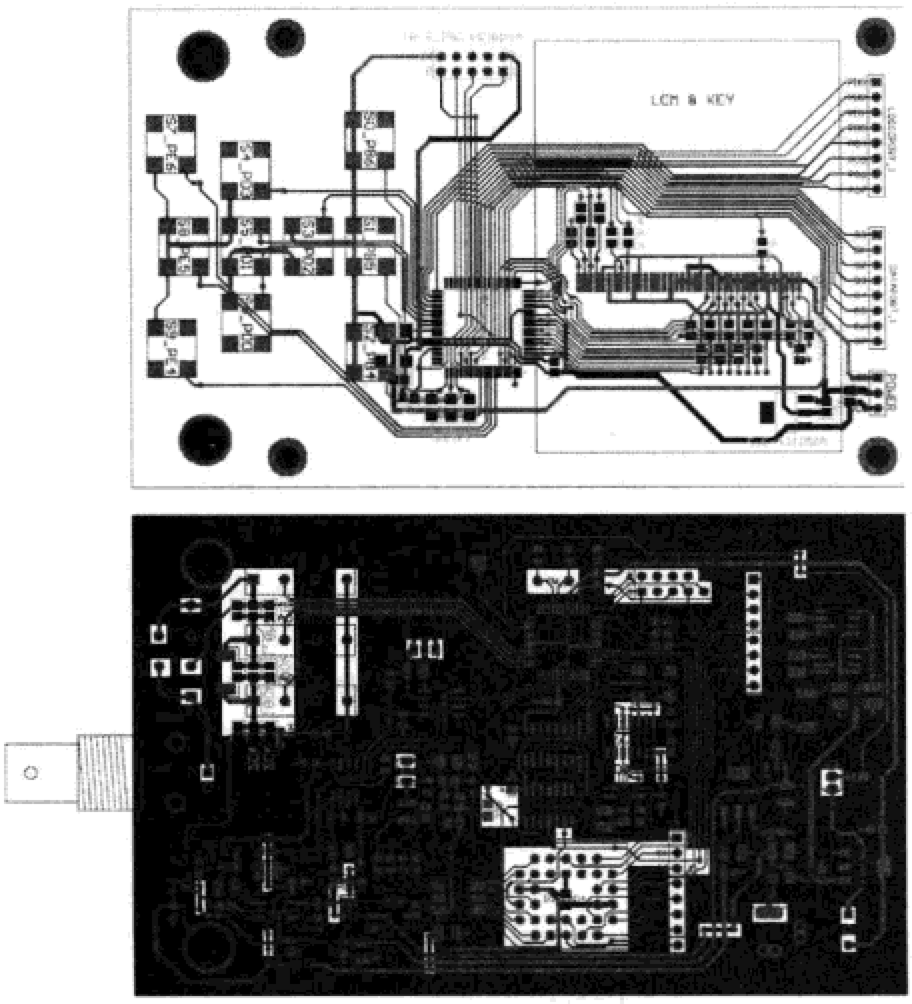


图4 改版的PCB图

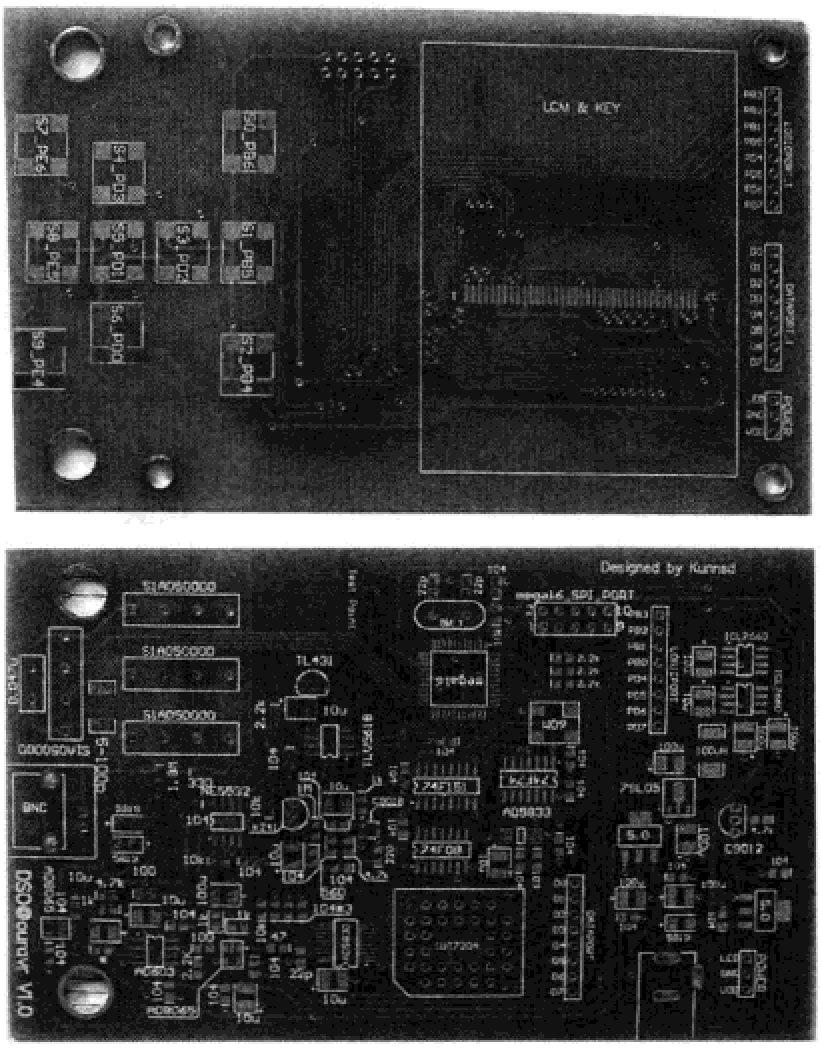


图5 交由工厂加工的PCB

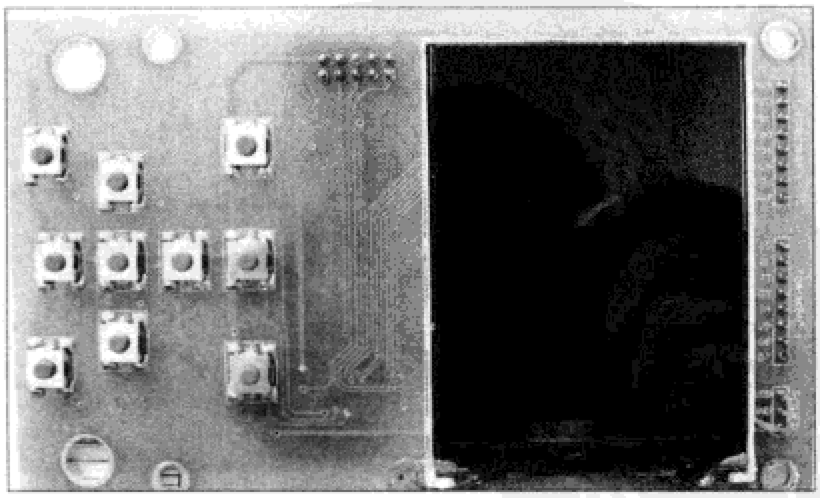


图6 液晶与按键

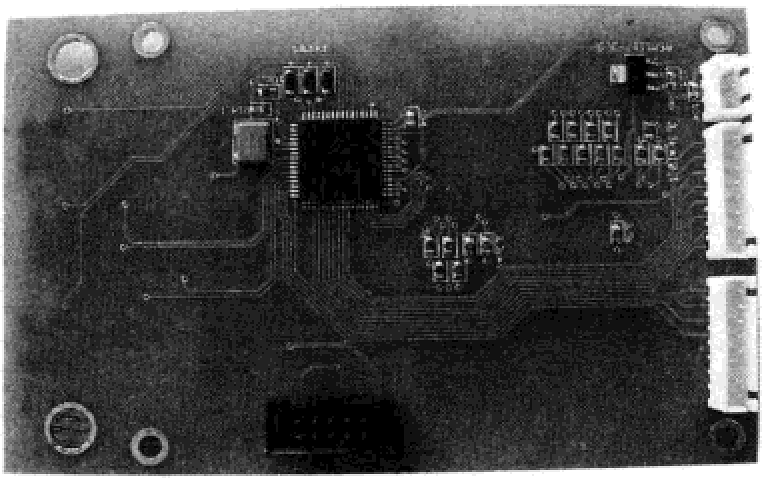


图7 MCU2控制电路

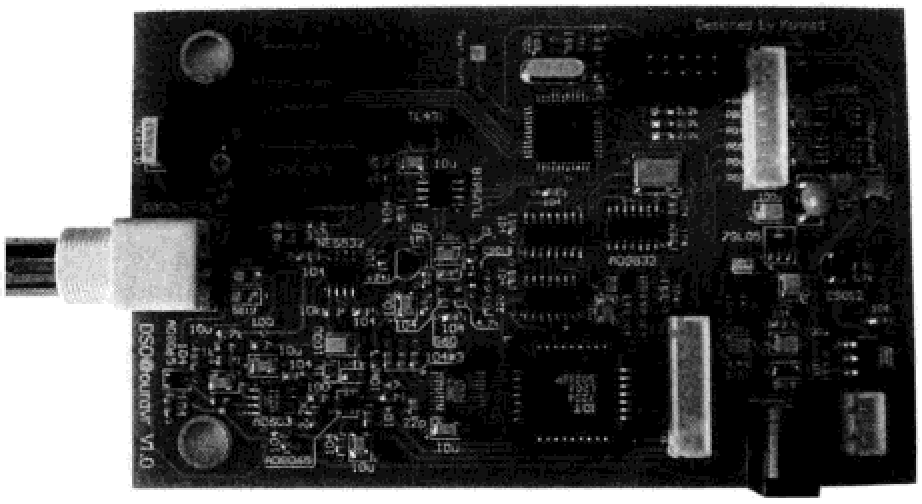


图8 MCU1和采样电路

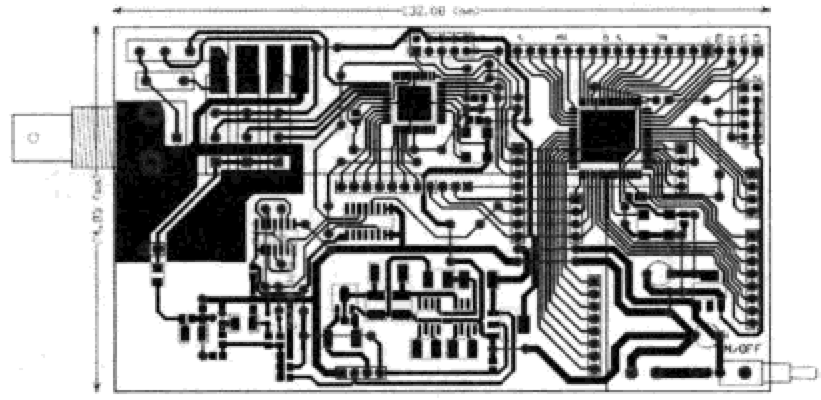


图9 MCU控制电路PCB

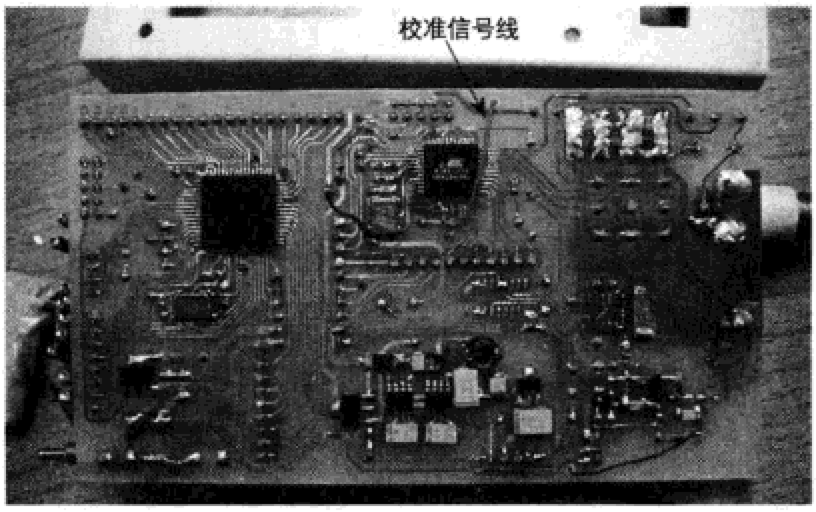


图10 MCU控制电路的实物照片

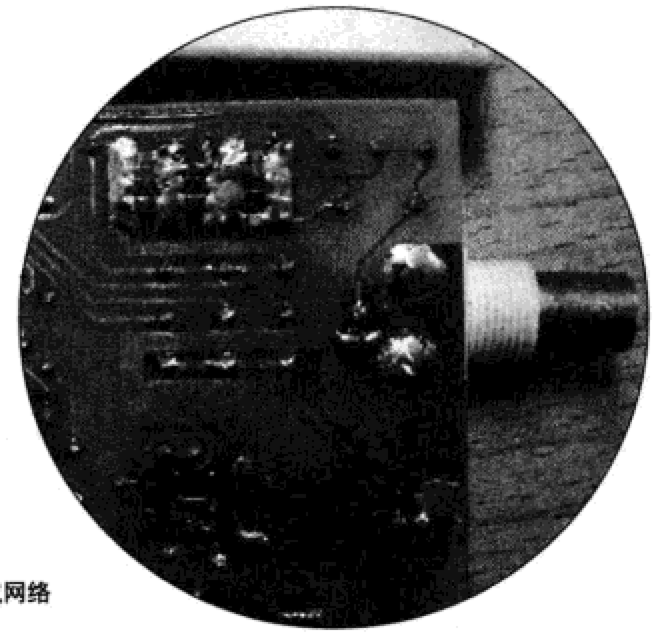


图11 输入衰减网络

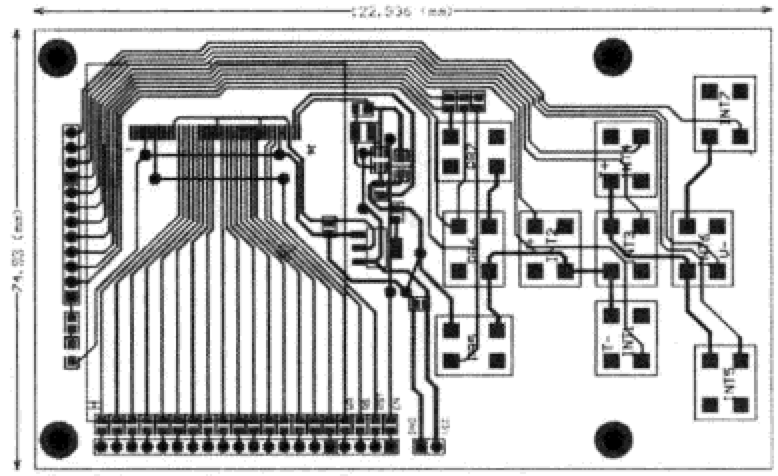


图12 液晶和按键电路PCB

错的，图5～图8是焊接好的板子的照片。

MCU控制电路

MCU控制电路是将两个MCU做在一块板子上，交由工厂加工的PCB是将两个MCU分开做的，M128做在了液晶屏的背面，见图6和图7。因为MCU控制板面积比较大所以只能做成单面的，在安装采集板的底部分布着信号整形以及负压产生电路。因为采集模块面积比较小，所以BNC座以及信号衰减网络的阻容元件和继电器都做在了控制板上，从图9可以看出控制板的尺寸约为132mm×75mm，板子的大小是根据外壳的大小定的，所以爱好者在自己布线的时候可根据自己选好的外壳加以调整。图10是MCU控制电路的实物照片，可以看到箭头所指的线是调试时从M16的一个PWM输出口引出的一根校准信号线。

图11是输入衰减网路的近照。衰减网络的衰减原理在硬件电路里已经叙述过了，衰减网络中电阻和电容的取值一般都比较特殊，所以要用串并联的办法得到需要的值，且电容上还要并上一个可调电容以方便调试。

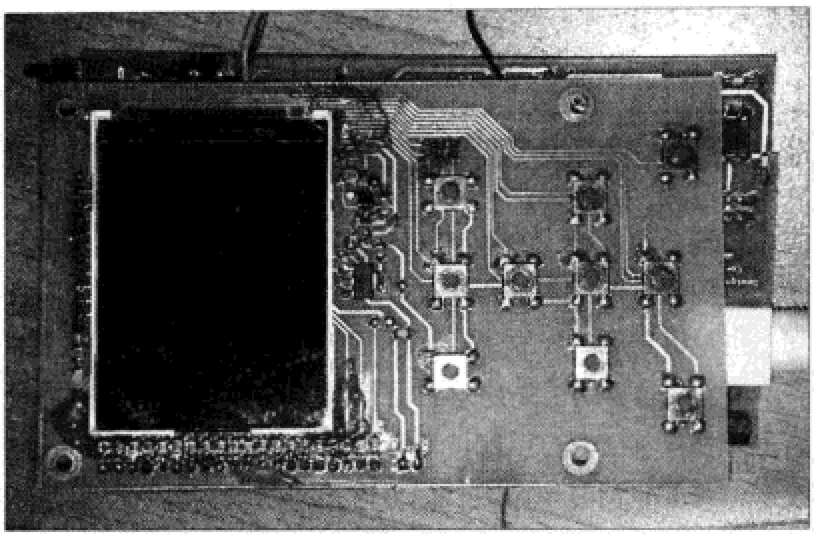


图13 液晶和按键电路PCB实物照片

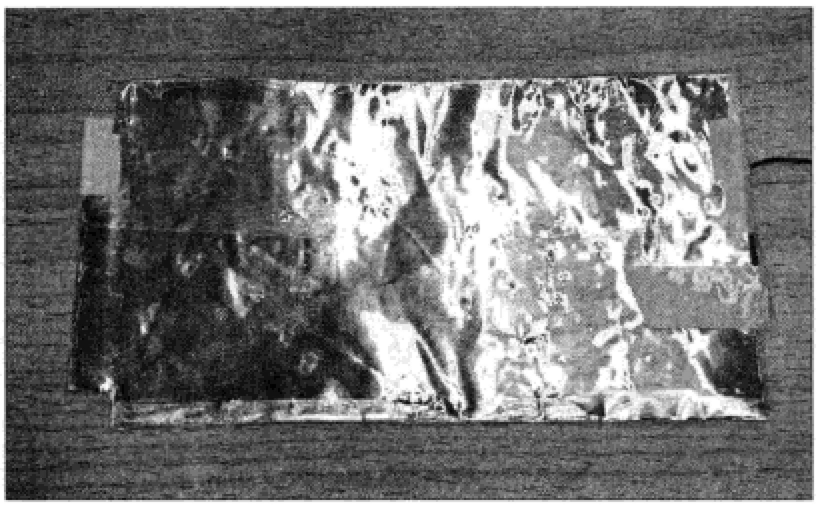


图14 裁好的铝箔

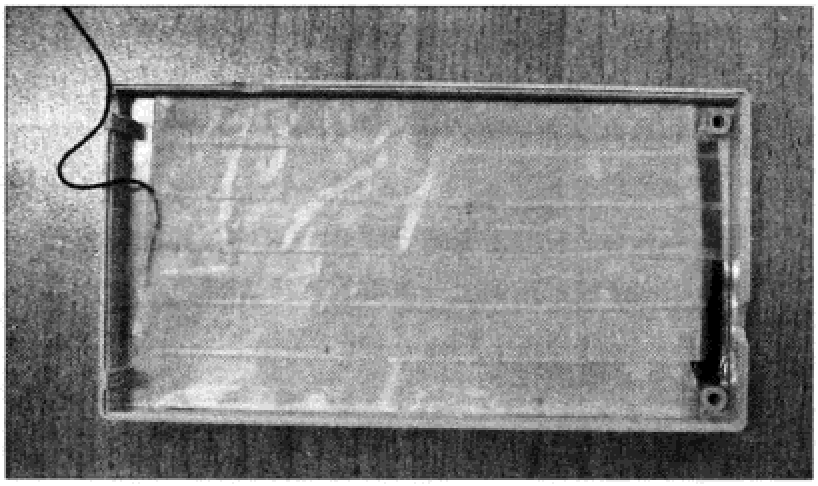


图15 将屏蔽铝箔贴在外壳上

液晶与按键电路

这部分的PCB和实物照片见图12、图13。为了提高电路的性能，加上了屏蔽铝箔，这样可以降低示波表对干扰信号的灵敏度。具体做法是按外壳背面的尺寸裁一张铝箔，然后给上面贴上绝缘胶带，将铝箔用导线接在电路板的地端即可，如图14、图15所示。

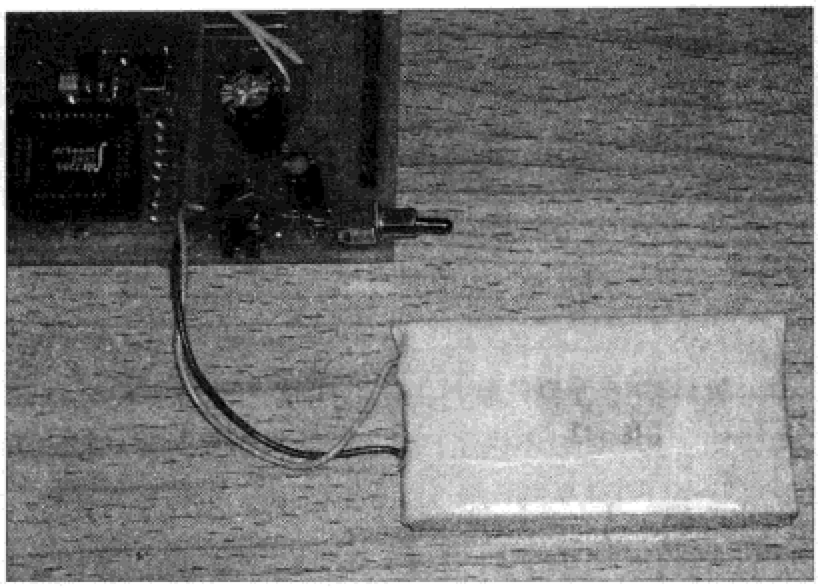


图16 示波表使用的锂电池

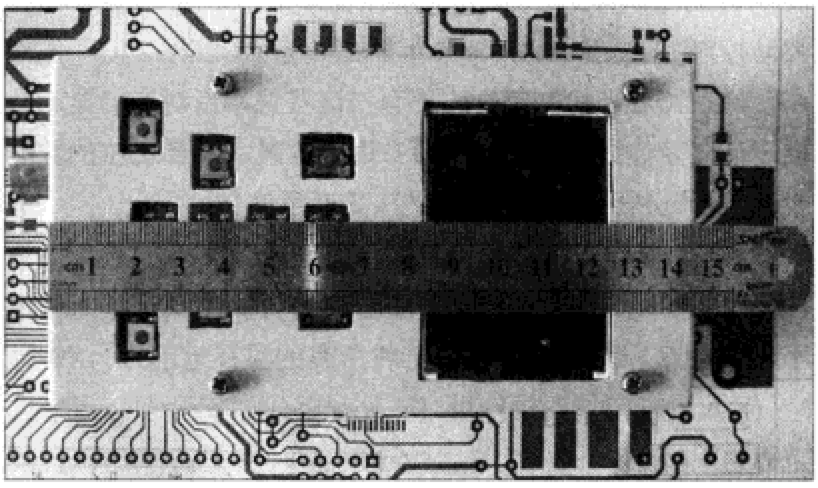


图17 整机尺寸

示波表可以用外接电源供电，也可以用两节锂电池串联供电，因为耗电量较小（不足300mA），所以使用两节750mAh的锂电池串联起来可以正常工作近3小时，图16是将两块锂电池串联、用绝缘胶带封好后与电路连接的照片。

外壳的开孔是比较费事的，但是只要细心也不是那么难，题图是安装好的示波表，外壳上按键的孔开得很难看，LCD的孔还是比较满意的，要是能有一台雕刻机那就完美了。为了增加液晶与按键板的机械强度，将液晶与按键板用螺丝拧在外壳上，由图中可以看出面板上有4颗螺钉，虽然有些影响美观，但还是必要的。图17是最后做好的整机和外形尺寸。

交由工厂加工的PCB将MCU1和MCU2分开放在两个板子上，采集板可以单纯作为一个采集电路使用，可以配合其他的控制电路实验。交由工厂加工的PCB文件可以在《无线电》的网站上下载到。

程序设计中的技巧

◎魏坤

在软件描述里我只就与上一版不同的地方加以详细说明，其他的就不说了，与上一版相比有两个主要的不同点，一是TFT液晶显示屏（以下简称TFT）的控制与刷新，二是程控放大器的控制。

TFT的控制与刷新

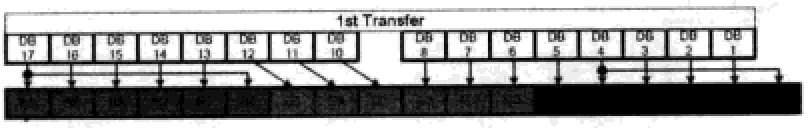
首先简单介绍一下这次使用的2.4英寸TFT。该显示器的驱动控制芯片是ILI9320，显示器上分布着320×240个像素点，ILI9320驱动控制芯片内部有与这些像素点对应的显示数据RAM（简称显存）。显示器中每个像素点需要16位的数据（即2字节长度）来表示该点的RGB颜色信息。

TFT的操作非常简便，要改变某一个像素点的颜色，只需要对该点所对应的2个字节的显存进行操作即可。为了便于对像素点寻址操作，ILI9320将所有的显存地址分为X轴地址（X Address）和Y轴地址（Y Address），分别可以寻址的范围为X Address=0～319，Y Address = 0～239，X Address和Y Address交叉对应着一个显存单元,这样只要寻址到了某一个X、Y轴地址，并对该地址的寄存器进行操作，便可对TFT上对应的像素点进行操作了。这就意味着，当对某一个地址上的像素进行操作时，需要对该地址进行连续两次的8位数据写入或读出的操作，方可完成对一个显存单元的操作，所以将LCD的16位数据连接在单片机的两个8位的并行IO口PORTA和PORTF上。

ILI9320内部有一个对显存地址进行累加的寄存器，即用于在读写显存时对显存地址进行自动累加，这在连续对屏幕显示数据操作时非常有用，特别是应用在图形显示时，在这个示波表里就利用了这个地址累加的特点对显示进行优化。累加器可以设置为各种方向的累加方式，通常情况下为对Y轴地址累加方式，表现为在连续的写入时钟下地址不断加一，而且当累加完一行时，会自动切换到下一行的开始继续累加，还可以设置为对X轴地址进行累加。

因为使用的是TFT，所需的控制数据量很大，是单色LCD的16倍，所以不能像以前使用单色LCD那样整屏刷新，而是用到哪些点就画哪些点，清除的时候是画了哪些点就清除哪些点。比如说，要显示的波形是蓝色，底色是白色，那么就是将要显示波形的点画成蓝色，清除的时候再将蓝色

附表 色彩数据对应表



的点画成白色就行了。这样一来就可以省很多的数据，因为要显示的点一般只占屏幕总面积的很少一部分，省了很多时间，也就提高了刷屏的速度。

对TFT的驱动首先是对它进行初始化，初始化是先将液晶屏复位（将RESET引脚拉低），再对那些控制寄存器进行设置，其中包括显示区域、地址自加方向以及电源控制等，具体见初始化函数。

要将波形显示在液晶屏上，就需要让采样数据和液晶屏的像素地址有对应关系，以采样的时间顺序为X轴地址，以采集到的幅度数据为Y轴地址，这样就能很方便地将显示地址确定下来。当显示地址确定下来后，所要做的就是让确定地址的像素点显示颜色，至于显示什么颜色，那就由显示数据决定。由附表可见，一个像素的颜色是由红、绿、蓝三原色混合而成的，当要显示红色时，显示数据为0xf800，当要显示绿色时，显示数据为0x07e0，当要显示蓝色时，显示数据为0x001f。但这样画出来的波形只是由零散点构成的，在显示上升或下降时间比较短的信号时往往只有几个点，看不清楚，所以像上一版一样，需要对显示点进行连线，思路和上一版相同，只是具体实现的方法有些许不同。此时就利用了ILI9320的地址自加功能，避免连续送地址，只靠写时钟就可以地址自加。因为示波器界面的显示框是和波形在同一平面显示的，不像上一版的单色LCD可以设置显示层，所以每次画波形前都要将背景框重画。为了节省时间，在清除屏幕时，不是将整个屏幕清除，而是上一次画了哪些点，清除时就清除哪些点。所以在画波形的时候要将波形数据备份一下，用于下次画波形前对上一屏数据进行清除。

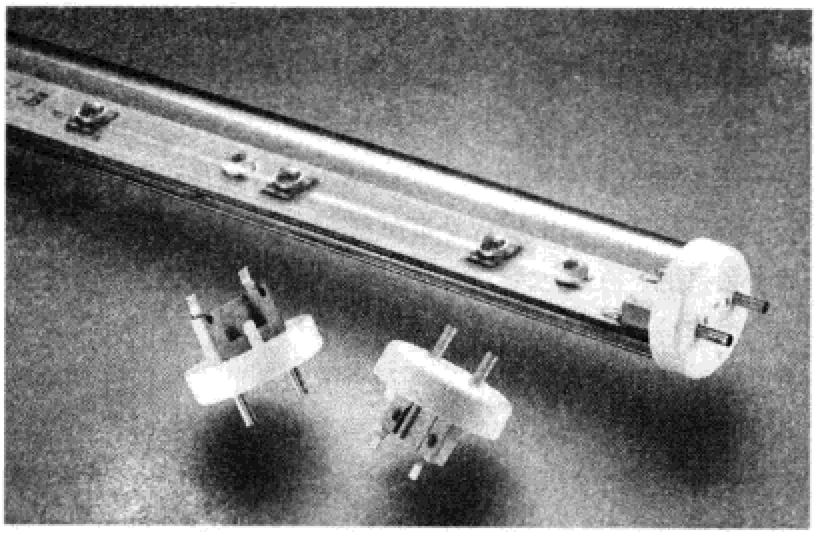
扫速控制与灵敏度控制

扫速控制是通过控制时钟频率实现的，幅度控制是通过控制衰减器和放大器来实现的。都是由MCU1为MCU2送控制指令而由MCU2执行，两个MCU之间是通过SPI总线通信的，和上一版一样。对AD9833和TLV5618的控制在硬件电路的组成部分已经叙述过了，具体程序可到《无线电》杂志网站下载。这两个芯片的驱动程序也可用于别的电路设计中，比如用DDS做的信号发生器。

至于其他的功能，比如峰峰值的计算、频率的测量等与上一版相同，在此就略去了，如果有朋友没有看过上一版的文章，可以翻开2009年第1期《无线电》的第53～55页，有详细介绍。

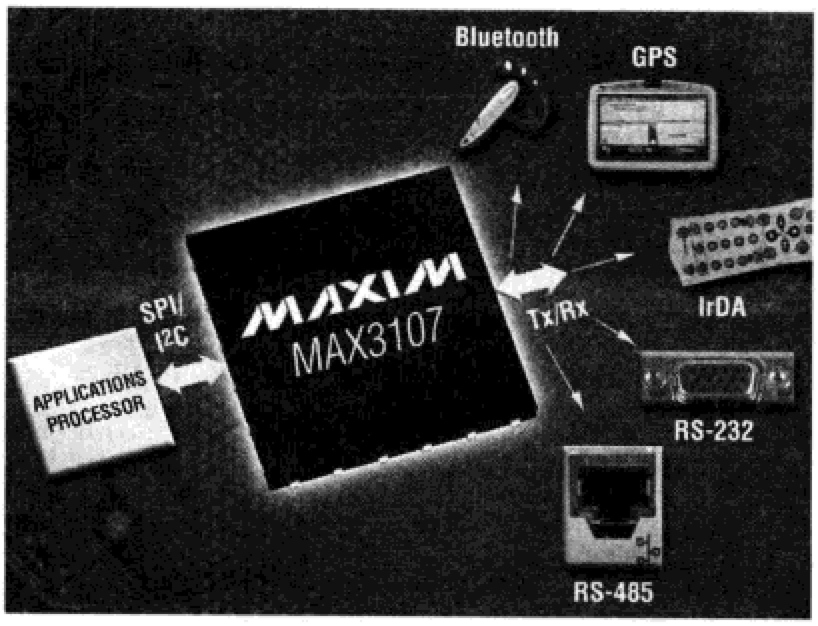
泰科电子面向固态照明行业推出全新G13型灯头连接器

泰科电子面向固态照明（SSL）行业，推出全新符合RoHS规范的G13型SMT封装及端盖所组成的灯头连接器。该产品适用于标准T8及T12荧光LED替代灯管内的印刷电路板及LED条带照明模块。其标准化针脚接口有助于实现荧光LED替代灯管的集成封装的大批量生产。G13系列的额定电流为2A、交直流额定电压为250V、绝缘介电强度为1500V/AC、每个G13规格中针脚中线距离为0.5英寸。



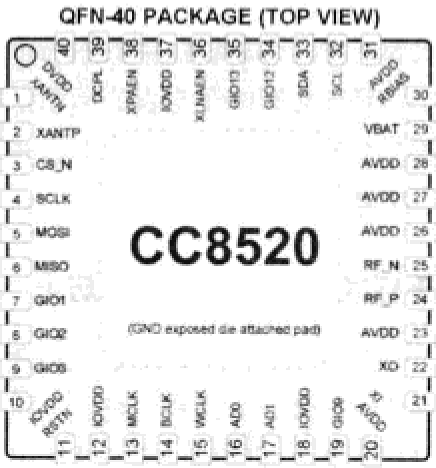
美信推出集成振荡器的微型SPI/I²C UART——MAX3107

美信推出业内功耗最低、速度最快、尺寸最小的SPI/I²C接口通信的串行UART——MAX3107。其内部集成振荡器，并拥有数据速率（24bit/s）和128字节的FIFO，从而减轻了系统微控制器的负担。MAX3107采用节省空间的24引脚（3.5mm×3.5mm）TQFN封装，非常适合需要高速通信协议的工业现场总线以及低功耗手持式消费类移动网络设备应用。



德州仪器推出支持无压缩CD质量无线音频技术的CC85xx 系列芯片

德州仪器推出支持业界高性能CD质量的全新 PurePath™ 无线音频技术——CC85xx系列芯片。该系列芯片充分利用TI音频与低功耗 RF 产品的专业设计技术，提供 2.4GHz片上系统，无需压缩，便可支持16位、44.1kHz或48kHz 音频，能够与蓝牙（Bluetooth®）、WLAN以及其他2.4GHz 器件实现良好共存，并具有内建RF协议及音频编解码器设置的单芯片IC。



伊万科技推出新品——ET310A手持数字存储万用示波表

珠海伊万科技新推出了一款多功能手持数字存储万用示波表——ET310A。在万用表挡，不用更换表笔，便可一键转换示波功能，这是伊万公司已获申请的专利技术。它功能多，小巧便携，在现场故障检修和上门维修时非常方便。

其具体功能指标如下：

- ◆ 50M 采样 /10MHz 模拟带宽的数字存储示波表（DSO）与 4000 码自动量程的真有效值数字万用表（DMM）相结合，一键转换示波功能
- ◆软件校准技术，内存校准系数
- ◆ DMM 功能包括 DC/AC 电压 / 电流真有效值、电阻、电容、频率、占空比、dBm、二极管 / 通断测试，交流电压带宽达 10kHz，同窗显示最大 / 最小值
- ◆ DSO 实现一键（AVTO）自动显示、测量波形
- ◆显示内容保持、存储 / 读出多达 100 组 DSO 波形和 100 组 DMM 数值
- ◆高对比度 FSTN LCD 带亮度可调的 LED 背光
- ◆可以选择 5~60min 内自动关机或连续工作
- ◆内置锂聚合物可充电池，外配 AC 供电适配器
- ◆ USB PC 通信接口及上位机软件（选件）
- ◆温度 / 三极管放大倍数 / 晶振测量 / 外接钳头（选件）

◎王浩森（BA3CE） 王东平（BA1AAX） 穆新宇（BD1ES）译

测试测量必备基础知识

测试的过程需要知道测量的内容及所要达到的精确度。比如我们测量电池的开路电压时，电表读数为1.52V，这代表的是什么意思？电表的指示是始终准确还是会随时间而变？是什么影响了电表的指示？通常我们测量电池电压时需要多高的准确度？你还记得这些基本知识吗？下面，让我们一起温习一下吧。

关于标准和重现性的简单历史

很早以前，人们就通过大量测试建立了关于测量和测量仪器的统一体系，这种“统一”可以确保人们用同一方法进行测量时得到相同的结果，这就是可重现的测量方法学。这样也保证了人们对同一个物理量的观测将得到相同的结果。如今在多数情况下，“统一”需要某些人为规定的标准物质。如果商家或科学家需要了解磅秤的称重能力，他们就可以把它送到一个实验室并与官方的磅进行比对。这种比对机制可能在相当长的时间内工作良好，直到标准磅因为经常使用，磨损太多，而出现误差，这时它就不再具有权威性了。

当然，有许多种测量都依赖于准确的地心引力。但是这样的测量会因时间及外部环境的改变而增加难度，甚至最终难以操作。最终结果是导致科学家们转而使用已确定的物理常数作为计量标准。例如，1m就定义为通过地球两极的圆周上的一个分数。

通常各国都有负责维护计量标准完整性的机构并负责标准的实施和推广。在美国，该机构是国家标准与技术研究院（NIST），即前国家标准局。NIST 决定伏特和其他基本单位的定义，并且与其他国家共同协调。适度付费后，NIST会将递交的样品与其所维护的标准伏特进行比对，并报告样品的准确性。实际上那里每天都会收到一些专用电池，它们被鉴定后再次返还各实验室，因此工业界才能核实他们的测试仪器，并确保仪器测出的1.527 V 与实际相符。

表1 标准频率电台（注：近年来，频率经常改变）

呼号	位置	频率（MHz）
BSF	中国台湾地区	5，15
CHU	渥太华，加拿大	3.330，7.335，14.670
FFH	法国	2.500
IAM/IBF	意大利	5.000
JJY	日本	2.5，5，8，10，15
LOL	阿根廷	5，10
RID	伊尔库茨克	5.004，10.004，15.004
RWM	莫斯科	5，4.996，9.996，14.996
WWV/WWVH	美国	2.5，5，10，15，20
VNG	澳大利亚	2.5，5
ZSC	南非	4.291，8.461，12.724

关于频率和时间

频率和时间在许多情况下是最基本的单位，并且是当今具有最高准确性的物理量之一。频率和时间之间的转换公式是以1除它们中已知的一个。因而1MHz的一个完整周期在时间上等于 0.000 001s。

准确保持时间的历史当然是从出现时钟开始的。木钟、水钟和机械钟是我们现代标准的鼻祖，而现代标准电子钟是基于频率的。在20世纪20年代，石英钟在实验室中得到完善并被用作标准。伴随无线电通信技术的出现，时间间隔能够通过电波传递，这样人们只需花费很低的成本就能在本地使用时间和频率标准。如今有许多国家的发射台在经过校准的标准频率上播发时间信号。表1介绍了这些发射台的台址和工作频率。

在20世纪60年代，Hewlett-Packard开始销售一种自稳定的时间和频率标准，叫做铯钟。在铯钟里，频率由石英晶体产生并被倍频到微波频率上。这个微波能量会穿过一个充满铯蒸汽的暗室，而暗室的作用可以理解为窄带带通滤波器。铯钟可以自动调整晶振的输出频率，并且检测通过暗室输出的微波信号，使其能量达到最大。这样就把晶振的输出稳定性间接链接到了铯蒸汽上，通常准确度能达到数个10^{-12}量级。这样的准确度比独立工作的晶振要高很多，但由于其近40 000美元的价格，铯频率标准对于业余使用来说还是有点儿侈奢。

铷频率标准是铯钟的一种替代品。相对于铯钟来说它的准确度较低，但并不昂贵，而且具有很短的预热时间和非常小的体积。老型号的铷钟偶尔会出现淘汰品，但是就像其他精密仪器那样，在使用它之前应该全面检查和校准。

多数爱好者并没有接触过铯或铷频率标准——或者是不需要它们。作为替代，我们使用石英振荡器。石英晶振可以提供3个不同等级的稳定性。最低准确度的是单一石英元件直接安装到电路板上。这种晶振的频率会受到设备温度环境的影响，每摄氏度都会改变几个百万分之一（$\times 10^{-6}$）。例如，10MHz晶体具有3×10^{-6}的温度稳定性，那么当晶体的温度改变2℃时频率会变化60Hz。如果在晶振的后面接有倍频器，则晶振频率的任何变化也都会被倍增。即使如此，这种

编者按：《The ARRL Handbook》是一本服务于业余无线电爱好者和电子学专业人士的无线电技术圣经。该书强调理论与应用的完美结合，包括了业余无线电的操作、初级和高级电子通信概念、无线电传播、天线理论、测试方法、实战项目、维修技术等，畅销全球80多年，成为了全球业余无线电技术的权威指导，也是现代无线电技术知识的资源宝库。本期我们摘录了该手册第25章关于测试测量的部分内容。这部分内容经过多个手册版本的积累和改进，从测量基础到测量方法的拟定，再到测量设备的自制方案，内容全面而实用，希望能够对读者有所帮助和启发。

简易晶体振荡器的准确度还是适合我们大多数应用的，并且多数业余设备也是依赖于这种技术的。

当晶体附近的温度被“加热炉”或其他邻近元件稳定后，晶振的输出将会达到第2个准确度等级。这种晶振的稳定工作温度通常都设计在远高于环境所能达到的温度上。这种晶振通常优于每天0.1×10^{-6}并且被广泛应用于商业双向无线电行业。

第3个准确度等级的晶振使用比例加热的双重加热器，两个加热器会自动互相补偿以提供绝好的温度稳定性。但这种晶振的加热器必须连续工作，或者无论如何也要先预热几天甚至两个星期。

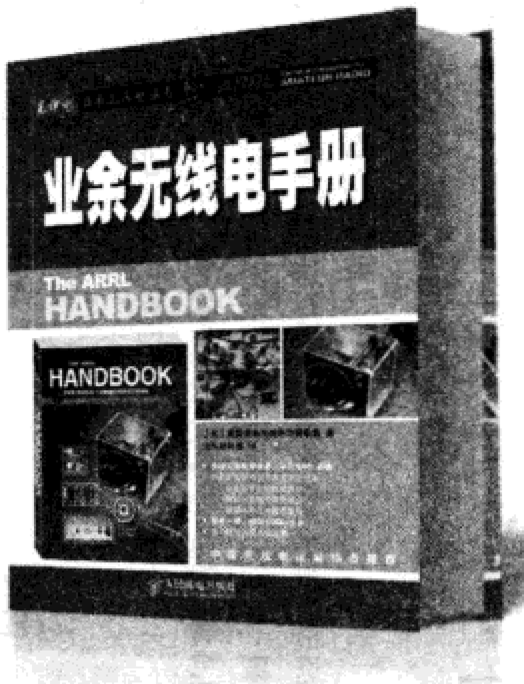
晶体的老化也会影响频率的稳定性。一些晶体的频率会随时间（年龄）而变化，采用这种晶体的电路必须包含补偿相应变化的元件。而另一些晶体则随着时间的推移而更加稳定，并成为了卓越的频率标准。许多商业实验室会花费不菲购买和测试某种晶体振荡器的一些样品，然后选择它们中最好的留下来使用。由于这种原因，很多剩余的振荡器就被淘汰了。然而这些淘汰品中仍然有很多稳定性好于1×10^{-9}/天的优质晶振，很适合业余爱好者的应用。

关于时间和频率校准

许多爱好者都拥有数字频率计数器，有从淘汰的实验室设备，也有使用单片集成电路的最新仪器。这些仪器都很精密且能显示9位或更多位数字，有些甚至相当稳定。即使如此，一个准确到1×10^{-6}/月的10MHz振荡器也会产生±10Hz/月的漂移。这样的漂移率也许能满足许多应用的要求，但留下的问题是它的准确度究竟如何呢？

这个问题可通过校准振荡器来解决。有好几种方法可用于校准，较常用的是把未知频率的振荡器搬运到另一个已知频率的振荡器那里，然后进行比对。通常的比对方法是将已校准的振荡器接入高频示波器的水平输入端，而待测振荡器则接至垂直输入端。把两个振荡器校准到频率相等会对今后的测量有所帮助，但这并不是必须的。通过标定正弦波在给定扫描速度下用多长时间穿越一个坐标格，就可以计算出振荡器每分钟漂移了多少ppm（$\times10^{-6}$）了。

另一种校准振荡器的技术是使用VLF相位比对仪。这是一种特殊的直接变换接收机，专门接收来自WWVB的60kHz信号。相位比对指的是使用WWVB信号与待测振荡器分频后的



频率进行比较。许多商用机型会附加小型纸带图表打印机，以监测接收机的频率。由于越来越多的60kHz VLF比对接收机被使用罗兰信号或铷频标的设备所替代，所以能够用很合理的价格买到被淘汰的接收机。可以自制一种高效60kHz接收天线，找一个音频变压器，把低阻抗绕组串联隔直流电容后接到接收机天线端，再把高阻抗绕组一端接地，另一端接上任意长度的导线作为天线。一个典型的VLF比对仪可以把振荡器的输出准确度跟踪到几个10^{-10}的范围内。这种技术直接将振荡器与NIST标准进行比对，甚至还可以描绘振荡器每天或每星期的ppm漂移特征。

另一种更直接的方法是把振荡器与WWV发射台的某个HF信号进行比对。虽然所接收到的信号并非十分准确，但是经过仔细比对后，一台现代HF收发机的振荡器准确度还是满足实用要求的，甚至满足大多数苛刻的要求。

最后也是最基本的校准方法是将振荡器与你的或本地其他HAM的振荡器或计数器进行比对。与对比那些已知频率的振荡器或计数器不同，这种方法很容易让人迷茫。真正的准确性并不是由著名公司的标签或出众的外观所决定的。计量学家（那些校准测量设备的人）在振荡器校准上所花的时间比设备中的其他部分要多得多。

当然，随着业余无线电设备和测试仪器的日益进步和复杂化，测量和测试过程也变得更加复杂。以往使用简单的电压电阻表就能解决很多问题，但是随着拥有先进数字技术的现代电路和高精度读出及更高频率设备的出现，测试需求和仪器也在不断变化，但以上的相关基础知识仍然是必备的。

实用电压表自制方案

◎王浩森（BA3CE） 王东平（BA1AAX） 穆新宇（BD1ES）译

本文自制的高频电压表性能优良，可以同时满足以下要求：■提供准确稳定的测量值；电压测量的频率从音频到高频；■电压测量的电平从QRP到QRO；■能够对设备内部或同轴电缆上的电压进行测量；■可以使用内置电池进行便携式操作或通过交流供电进行操作；■仪器能够灵活地选择利用已有的数字式电压表或独立工作；■成本低廉。

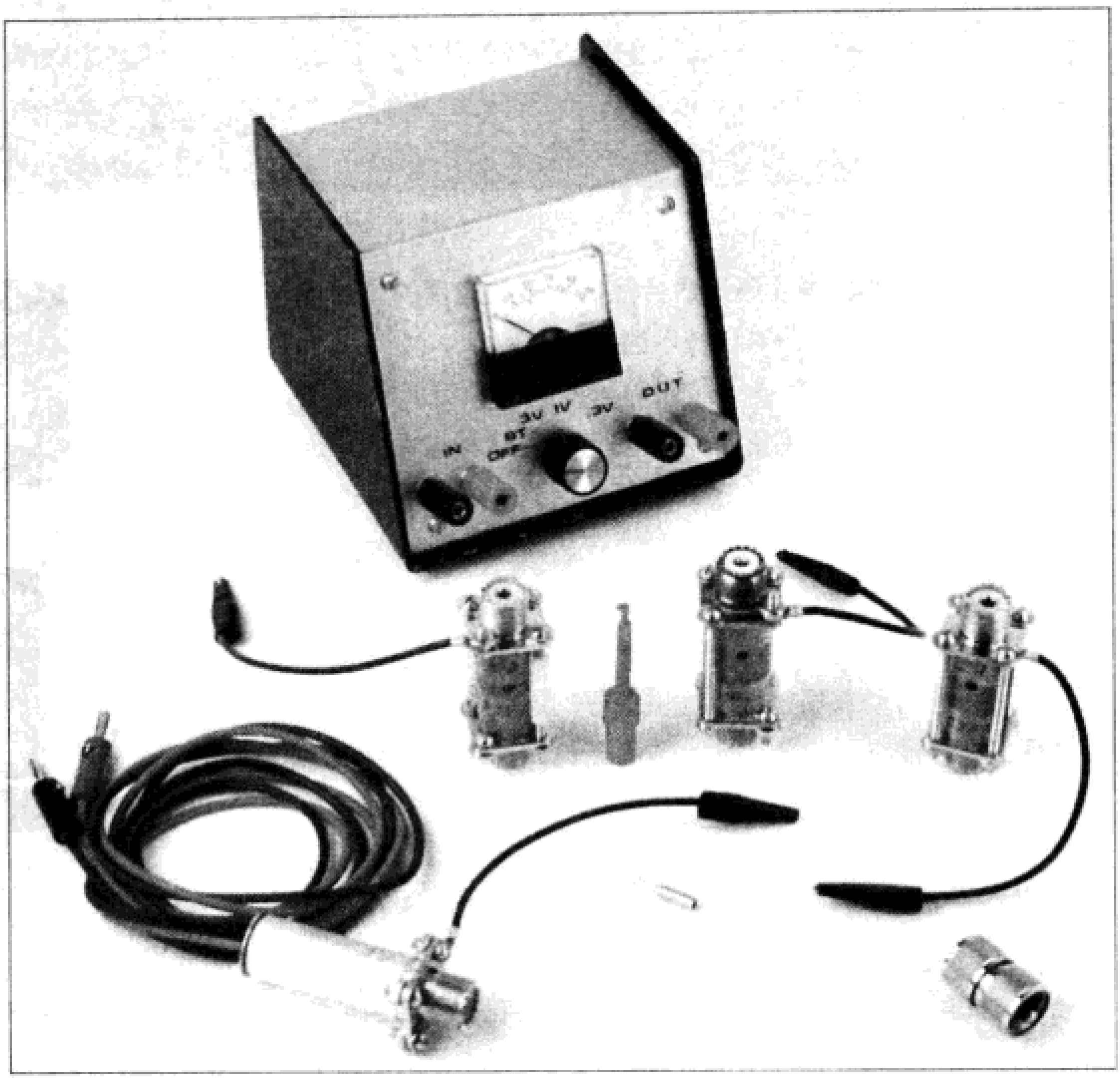


图1 RF 电压表由电压表、RF 探头和电压扩展器组成。

本文介绍一种用途广泛的RF电压表（RFVM），不仅轻便简单而且成本低廉。其测量的电平范围为100mV~300V，频率范围为音频~30MHz，准确度为±0.5dB。采用内置模拟表头、外接数字电压表（DVM）。

设计思路

为了达到稳定，RFVM（见图1）使用一个匹配的二极管来补偿运算放大器和探头中二极管产生的漂移，使灵敏度延伸至QRP电平。通过串联补偿电压扩展器将动态范围线性地扩大为0.1～300V（RMS）。

我们选用了肖特基二极管，这样可以得到从60Hz到30MHz平坦的频率响应。基本探头和电压扩展器能够非常简单地组合成一个功能探头，夹到底盘上的各测量点或旋紧于UHF同轴连接器。有源器件只有两只运算放大器，当使用9V电池供电时静态电流为800μA，最大工作电流为4.0mA。当9V外接电源插入背板上的插座时，内部电池被断开。依照设计，微安显示表头安装在倾斜的前面板上，在前面板上有一对香蕉插座可以连接使用一台DVM。这样，我们就省掉了一个运放、一个表头和一个多置开关，而表头和开关是本装置中最昂贵的零件，所以成本大幅降低。

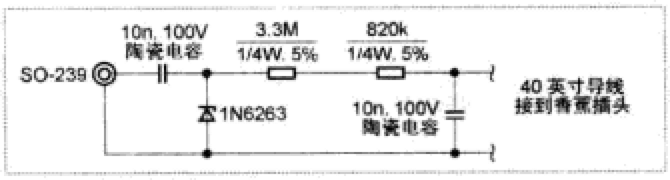


图2 RF探头的电路图

1. 探头

低压探头由肖特基二极管和高阻抗滤波器构成的检波电路组成（见图2）。二极管与CA3160（见图19）的反馈电路中的二极管性能配对，使得二极管门限电压从大约0.34V下降至小于0.1V，相当于锗二极管的水平。笔者认为0.1V已经能够充分满足QRP测量的要求，所以没有进一步对锗二极管进行测试以确定究竟还能降低多少电压。

使用低压探头和电压表（见图19）电路中CA3160的输出进行二极管的配对。首先搭建CA3160电路，选择一个二极管安装在CA3160的反馈环路，然后将3个电位器调整到中间的位置，在探头上测试其余的二极管。针对每个待测二极管，探头输入端依次送入100mV和3.00V/400Hz信号，在CA3160的输出端记录下直流输出的值。

笔者一次性地购得一袋20个的二极管，从中挑出了7对在低电压和高电压时读数相同的二极管。袋中的二极

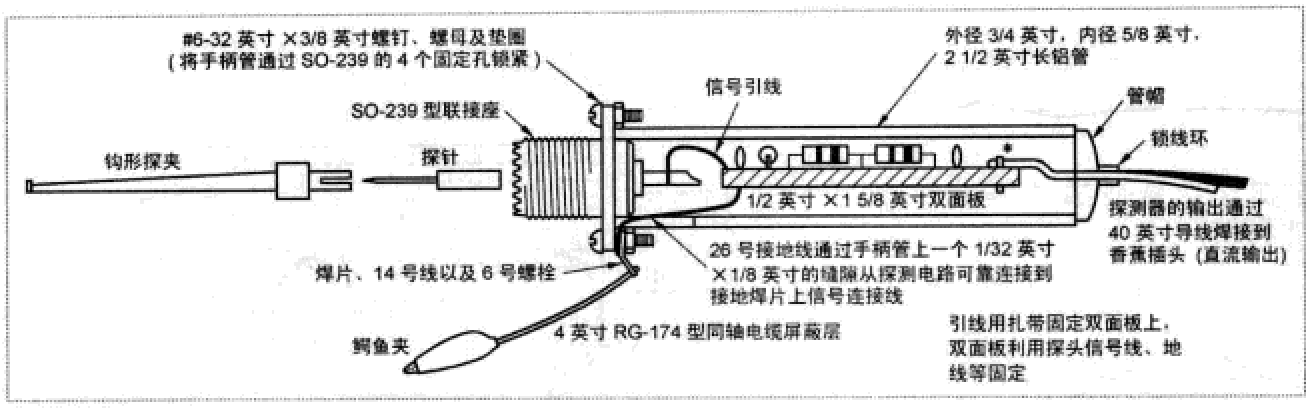


图3 RF 探头结构
钩型探夹（RS 270-334）
探针（Mouser 534-1600）
14号线和6号螺孔的接线焊片（Mouser 571-34120）
鳄鱼夹（RS 270-1545）
插帽（Mouser 534-7604）
锁线环（Mouser 5167-208）
采用1m长RG-174同轴电缆屏蔽层作为接地导线。

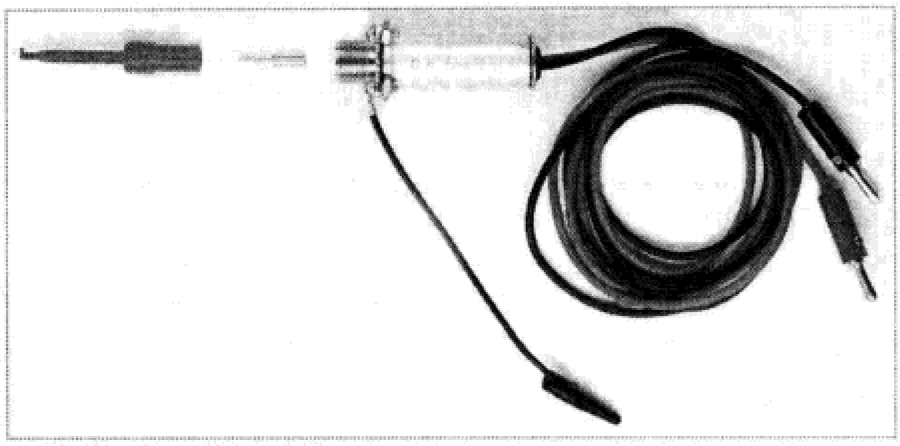


图4 钩型探夹、探针与RF探头

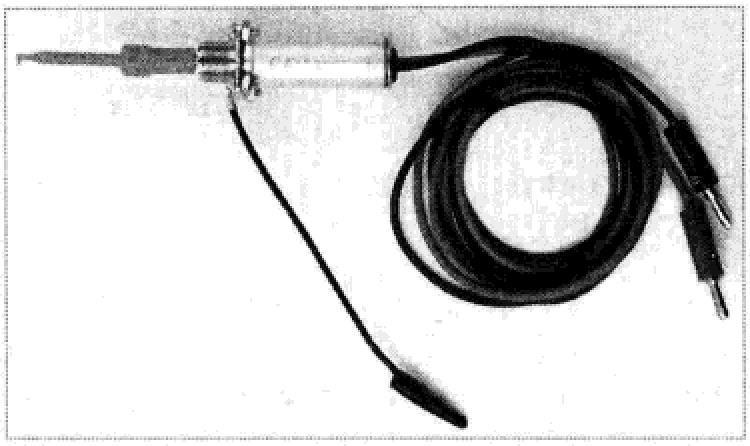


图5 RF 探头用一个探针和钩型探夹连接。探针是看不到的，但是它在钩型探夹和SO-239 之间提供物理和电气连接。

TIPS

本文中的尺寸采用原书的英制单位，1英寸≈25.4mm

管基本全部是同一个生产批次，因此选择匹配的二极管并不难。

2. RF探头组装

在选择好匹配的二极管以后，RF探头的所有元件被装配在一片位于铝管中的电路板上（见图3）。这个电路板非常轻，由板子末端的输入和输出导线予以支撑。输入RF导线被焊接到SO-239同轴连接器的中心引脚，DC输出使用两条26号绝缘导线，用一根小尼龙绑绳固定于电路板，然后穿过插帽和锁线环引出。在铝管的前端切开一个至少1/8英寸长、1/32英寸宽的缝隙，方便26号接地裸线穿过。

下面，我们来看怎样装配探头。铝管刚好可以套在SO-239 同轴连接器后端，当4只#6-32 螺丝、螺母和垫圈被安装在SO-239 同轴连接器安装孔上时，螺母侧面将铝管和同轴连接器锁紧。多数标准的SO-239 同轴连接器安装孔可以很容易被#6-32 螺丝穿过，如果不合适可以对其进行扩大。接地导线从电路板通过铝管上切开的缝隙连接到固定在同轴连接器螺丝上，这样可以保证探头可靠接地。如图3所示，SO-239同轴连接器正面的螺纹部分背对铝管。

将探头的SO-239 连接到一个T 型连接器上，这样就可以对同轴电缆中的电压进行测量了。在SO-239 中简单地插入一个合适的探针可以对底板或电路板的任意点进行测量。合适的尺寸为：探针头部直径0.08 英寸，连接端直径0.14 英寸。这个探针是笔者在检查一个非常古老的置物箱时偶然发现的。另外，可以使用一个钩型探夹对电路板或底板上的部件及测试点进行测量。钩型探夹可与SO-239 上的探针匹配，如图3和4所示。所有这些在连接器行业是众所周知的，但在其他领域却可能不为人所知或不被使用。图5所示为使用探针连接钩型探夹与RF 探头。

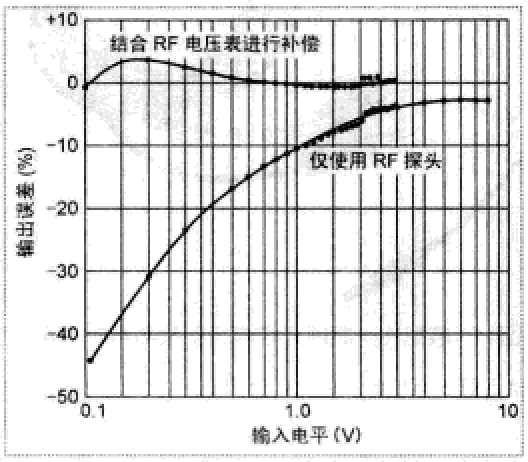


图6 独立的RF探头以及和RF电压表结合的幅度线性曲线

探头测试

当直流电压或直流电压与约28 V峰值交流电压的组合没有超出二极管的反向电压规定值时，探头可接受的RF 信号可高达20V（RMS）。笔者对RF 探头进行了100mV~8.0V/400Hz 的线性测试（测试范围受到信号发生器的限制）。图6给出了探头输出相对于输入的幅度误差曲线。这些数据是用一台具有10MΩ 输入电阻的数字式电压表测量出来的。这个输入电阻和探头中的4.1MΩ 电阻将正弦波信号峰值电压转换为DVM 上的RMS 读数。在100mV 时误差为 -44%，10V 时为10%

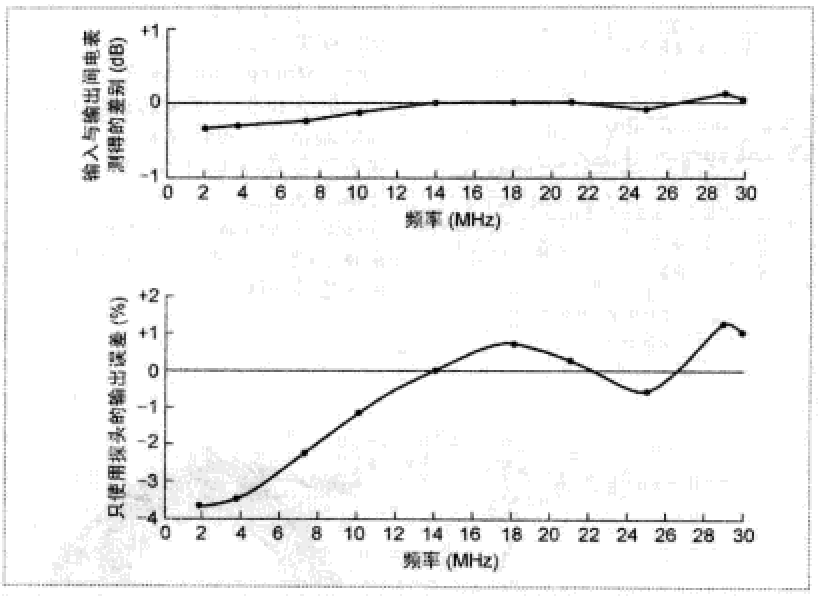


图7 RF 电压表频率响应。探头的频率响应决定了整个系统的频率响应。

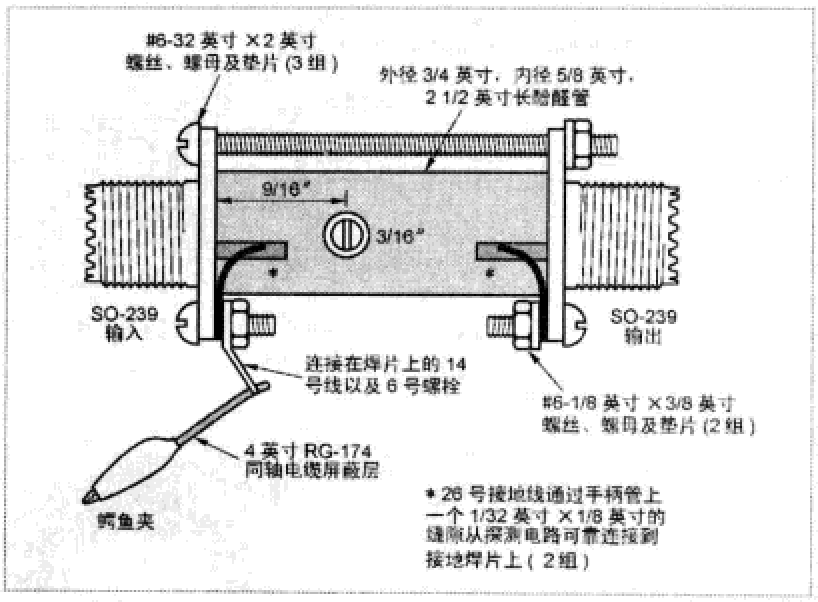


图9 10倍电压扩展器结构。酚醛管是美国塑料# 47081，接线片是Mouser 571-34120。

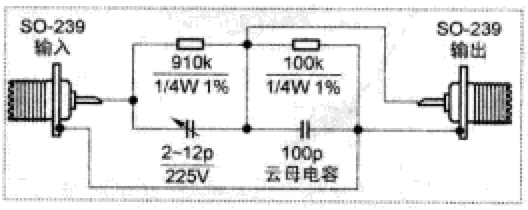


图8 10倍电压扩展器电路图。

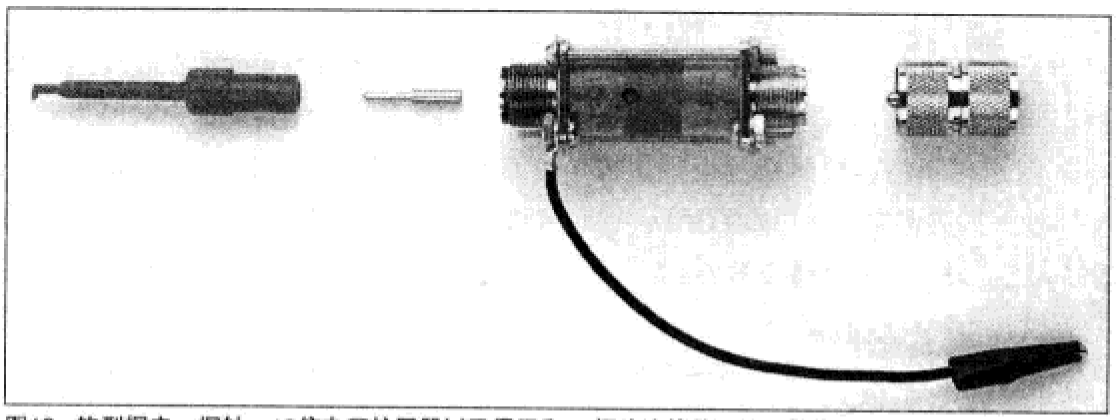


图10 钩型探夹、探针、10倍电压扩展器以及用于和RF探头连接的双公口转换头。

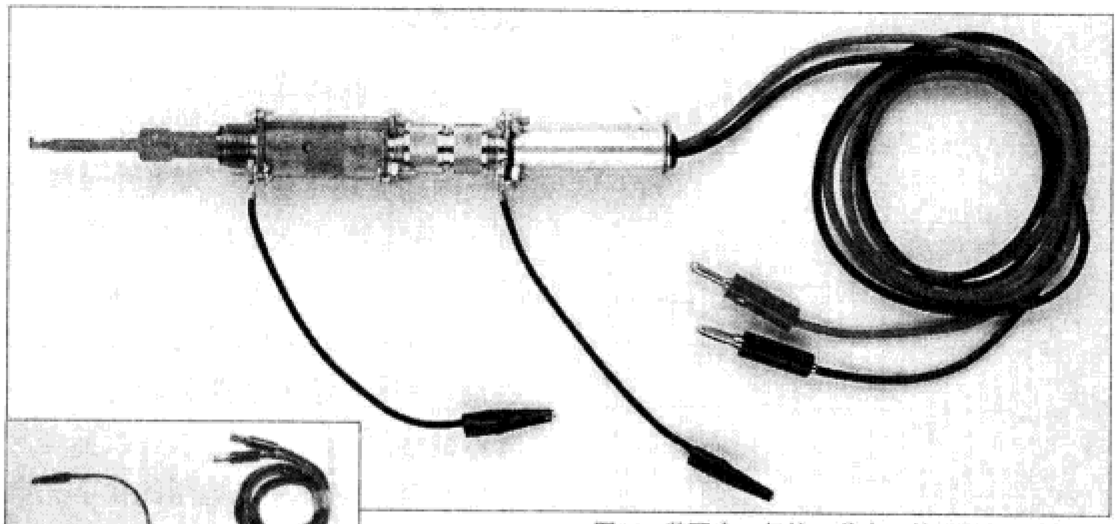


图11 装配在一起的10倍电压扩展器与RF探头

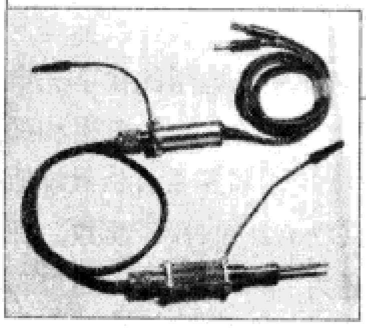


图12 用短于12英寸长同轴电缆连接RF探头和电压扩展器。

(0.9dB)，8.0V 时为 2.9% 。RF 探头与 DVM 对高电压读数响应显著，而二极管电压降对测量准确性的影响不大。

探头的频率响应使用1.9~30MHz各个业余波段中心频率的650mV信号进行测试（见图7）。探头连接到电压表，这时，因为输入电压低，所以绝对误差很高。电压表反馈回路中的补偿的二极管使得从DVM测得的误差从90mV（14%） 降低到4mV（0.6%）。然而频率响应由探头控制，电压表在直流状态运行，对频率响应没有影响，但可以使灵敏度得到改善。测量得到的响应为-3.6%（-0.32dB）~+1.2%（+0.1dB）。

电压扩展器

为了扩大RF 探头的电压测量范围，笔者使用了一个10倍电压扩展器，这是一个带有补偿的分压器，如图8所示。电路的设计非常简单，通过一个小可变电容的调整就得到了非常平坦的频率响应。这些元件非常轻，因此不需要电路板并很容易连接在2个SO-239同轴连接器的导线支撑上。为了测量，输入连接器可以通过同轴电缆连接到其他连接器，或者通过插入一个探针来探查电路板或配合钩型探夹连接底板上的部件。电压扩展器可通过公对公转接头或者两端带有公头连接器的同轴电缆连接到RF探头上。

典型的调整方法需要将一个方波信号送到输入端，并把一台示波器连接到输出端。调整可变电容使输出

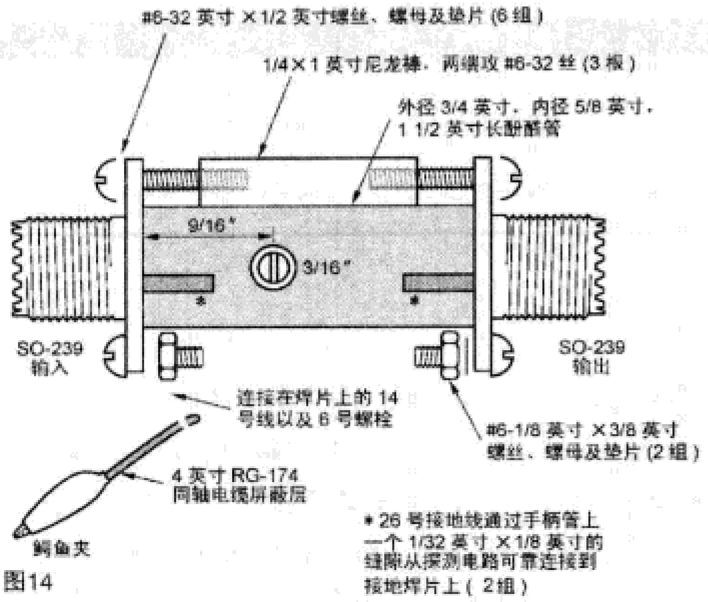


图14

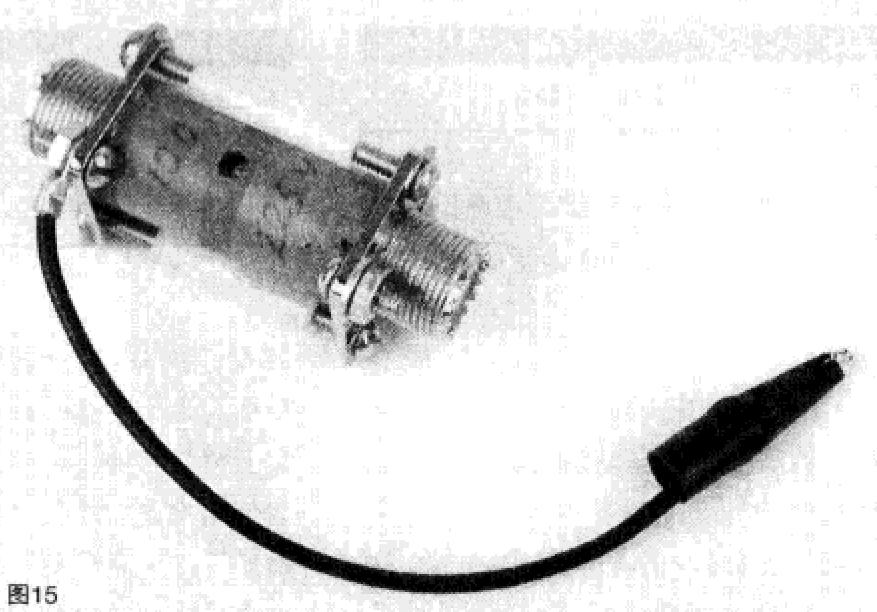


图15

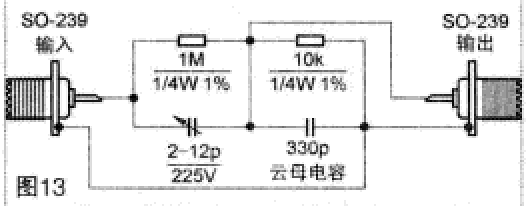


图13

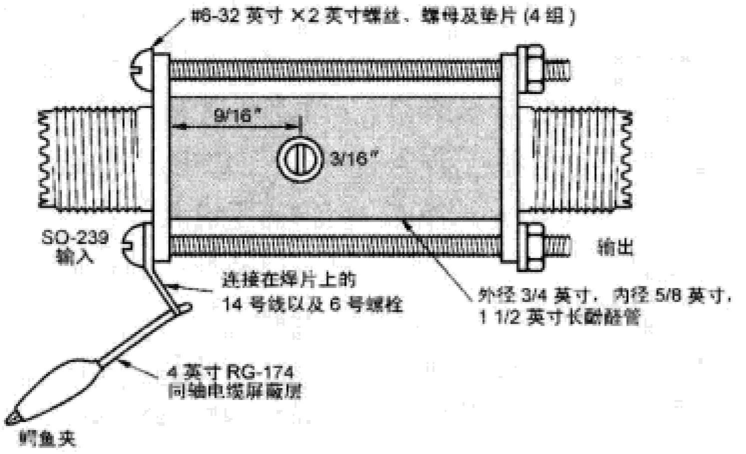


图17

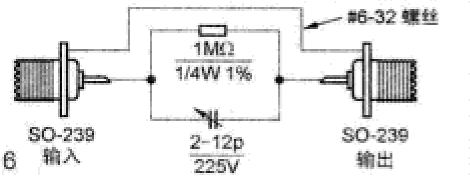


图16

为正确的方波，波形前沿没有过冲或下陷的现象。如果没有方波信号发生器，1.9~30MHz的RF信号发生器可以替代。因为是10倍电压扩展器，输入电压的理论值可以达到200V（RMS），但因为受可调电容器额定225V/DC耐压的限制，所以最大输入电压限定为150V。如果你能找到更高耐压并可以放入扩展器外壳中的可调电容，最大输入电压可以增加到200V。

电压扩展器的装配使用和RF探头相同的方法，但也有一些区别。开始笔者使用铝管，像在RF探头中一样用#6-32螺丝锁紧，但在21MHz时频率响应开始下降。用同样尺寸的酚醛管替换后，频率响应就可以达到30MHz了。

构造方法如图9所示，输入和输出末端的接地导线通过酚醛管两端的开

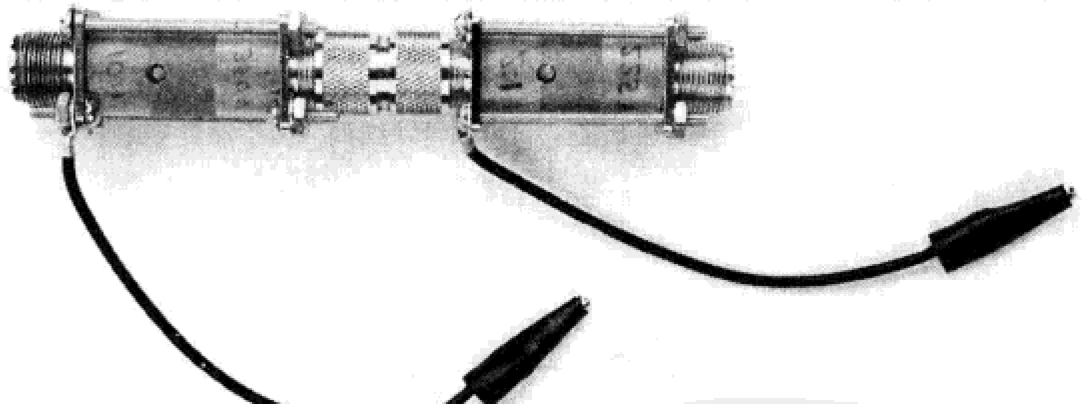


图18

图 13 100 倍电压扩展器，最大输入是 150V（RMS）

图 14 100 倍电压扩展器结构图，尼龙隔离柱（Mouser 561-TSP10），酚醛管（美国塑料 # 47081）。接线片是 Mouser 571-34120。

图 15 装配好的 100 倍电压扩展器

图 16 2 倍电压扩展器。它的输出连接到 100 倍电压扩展器以得到 200 倍的扩展范围，最高输入电压为 300V（RMS）。这个扩展器只能和 100 倍电压扩展器配合使用。

图 17 2 倍电压扩展器结构图，酚醛管（美国塑料 #47081）。接线片是 16-14#6 螺柱（Mouser 571-34120）

图 18 2 倍和 100 倍电压扩展器通过公对公转接头装配在一起，测量电压可以达到 300V（RMS，1800 W）。

表1

倍率	10×	100×	200×
输入电容（pF）	13.3	10.9	13.5

表2　电压测量范围

探头类型	量程（V）	最大电压
独立使用探头	1.0～20V AC	20V AC
加10倍扩展器	10～150V AC	225V （AC＋DC）
加100倍与2倍扩展器	150～200V AC	450V （AC＋DC）
加100倍与2倍扩展器	200～300V AC	450V （AC＋DC）

口缝隙旋紧在两端同轴连接器的螺丝上。酚醛管的一个孔可进行可调电容器的调整。

图 10 是一个分解图，包括钩型探夹、用来连接探夹和电压扩展器输入连接器的探针、电压扩展器以及一个用来连接输出端和 RF 探头的公对公同轴连接器。装配在一起的电压扩展器和 RF 探头如图 11 所示。整体长度为 3½ 英寸，手持舒适。如果需要更多灵活性，可用同轴电缆连接两者（见图 12）而不会对测量准确性造成过多影响。

100 倍电压扩展器的设计思路和 10 倍电压扩展器一样，包括可调电容器（见图 13），可变电容的 225V/DC 耐压限制了 RF 最大输入值为 150V (RMS)。如果仅使用于 RF 探头及 DVM，就没有意义了，因为 10 倍电压扩展器已经包括这个范围。后面我们将了解它在 RF 探头及电压表中的用途。

100倍单元也使用一套有孔的、两端开口的酚醛管，孔用来调整可变电容器，开口缝隙用来引出接地导线压紧在连接器螺丝上。为了满足30MHz高频的需要，连接2个SO-239 同轴连接器的2英寸螺丝必须被绝缘，可以在连接器孔上使用塑料垫圈进行绝缘。实际上需要#4-40×2英寸长的螺栓，笔者使用的是 1½ 英寸的螺栓代替，但是如果你能找到更长的螺栓，那将是这个扩展器的最佳装配方式，否则，可以用尼龙棒和更短的螺丝组装（见图14和图15）。输入端的钩型探夹、探针和输出端的公对公转接头或同轴电缆与电压扩展器一起使用。

2倍电压扩展器的作用是和100倍电压扩展器组合，构成200倍的电压扩展器，以便将电压范围从150V扩展到300V（1800W，50Ω在匹配条件下）。每个扩展器中的可调电容各自承担一半的输入电压。

因为是和100倍扩展器中的RC部分共同进行分压，所以图16中的2倍扩展器只有一个RC部分。

装配结构如图 17 所示，仍采用以前的管状结构，但不需要接地导线的开槽，4 个固定螺丝形成了接地通道。图 18 中显示了两个扩展器串联的情形。表 1 显示了各个扩展器的输入电容。

当对50Ω负载阻抗进行测量时，扩展器的输入电容对30MHz以下没有影响。当负载阻抗更大时，则需考虑由其引入的误差。输入电容对负载的影响可用下面的公式表达，当无输入电容的电表测量值下降到实际电压值3dB时，该公式表示阻抗、电容和频率之间的关系：

$$f=\frac{1}{2\pi R_L C_P}$$

其中，f为3dB损失频率

R为负载阻抗

C_P为探针电容

例如，负载阻抗为 1kΩ，探头电容为 13.3pF，3dB 压降时频率大约为 12MHz，误差为 30% 。如果用衰减器取代扩展器，则不会出现这个问题，因为它具有固定的负载阻抗，在高频率为 50Ω 或在低频率为 600Ω。探头不能选择其频率或负载阻抗，因此需要在测

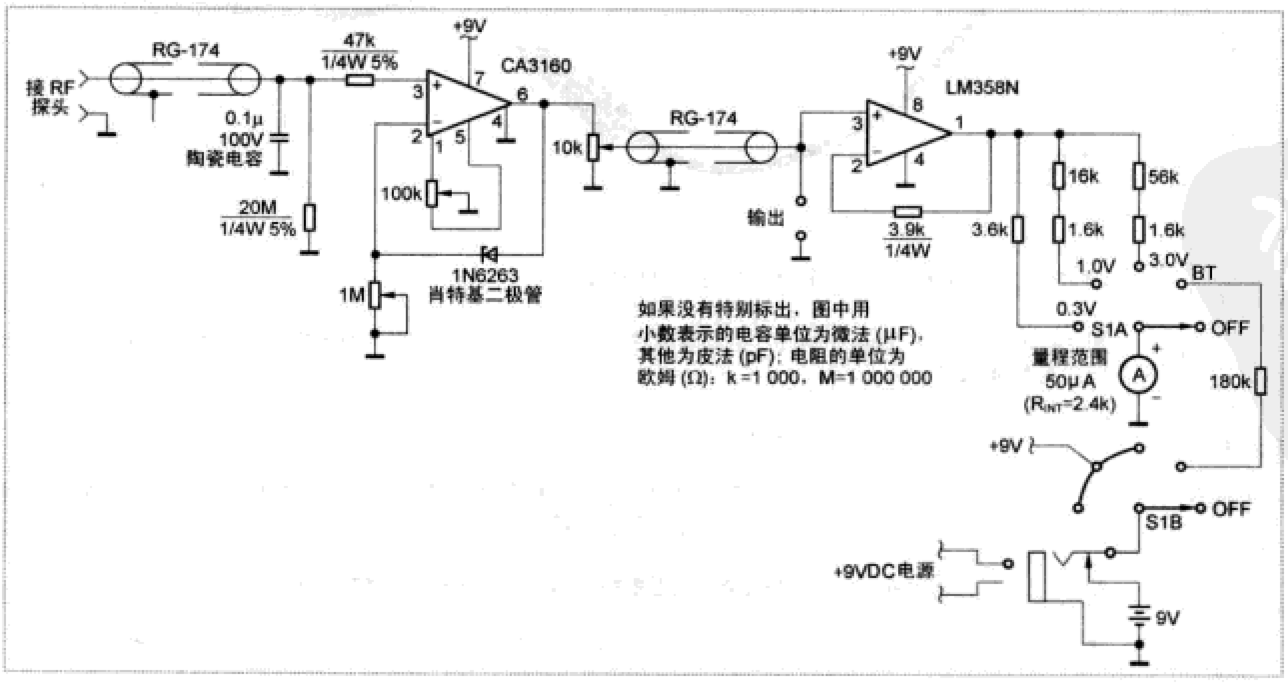


图19　RF电压表电路图。DVM提供比面板表头更高的读出精度，当S1放在BT位置，面板表头指示满度时电池的电压为9V 。

S1-2P5T 1英寸直径非短路旋转开关。

一条单点接线支架安装在表头背面的引线螺丝上，为表头电阻提供安装支点。

以下电阻器采用碳膜或金属膜电阻（1/4W，±1%）:1.6kΩ，3.6kΩ，16kΩ，56kΩ。3个电位器选用顶部调节的12圈陶瓷多圈电位器。用于连接RF探头输入和用于连接可选DVM的输出连接器采用两个双联香蕉插座。电阻器、电容器、IC、二极管和电位器安装在万用印板上。表头、香蕉插座和开关安装在机箱前面板上，外接电源插座安装于机箱背板。

量中认真思考和灵活应用。但这些扩展器在 50Ω 或 600Ω 下不会有问题。

表2给出了仅使用电压扩展器和RF探头组合与具有10M输入阻抗的DVM的电压测量范围汇总列表。

电压扩展器在使用时应采取安全预防措施，避免人身受到高电压的伤害。

在电压扩展器的两端以及RF探头的一端装有同轴连接器座，它们的地相连并接入电压表。当使用AC供电的9V电源时，电压表被接地。当使用电池操作时，电压表通过接地连接线夹连接到测试电路的地。如果各个连接插座以及接地连接线是可靠的，则效果是令人满意的。

此外，为了保险起见，使用绝缘胶带缠绕连接器，并用塑料套管包裹电压扩展器，以防止在测试中接触到手或设备。因为要展示探头和电压扩展器的结构，在本文的图片中没有显示这些措施。

电压扩展器的频率响应使用 RF 信号发生器调整在 160~10m 包括 30MHz 的各业余波段的中心频率上。从 160~17m 的误差是 5.42% (0.46dB)，在 15m 波段以及 30MHz 减少到 4.13% (0.35dB)。160~17m 的恒定误差大概归结于测试器材的固有误差。示波器的带宽为 60MHz，输入电阻和输入电容分别为 1MΩ 和 30pF，导致对电压扩展器输出负载的影响。同时示波器还有一个 ±3% 的读出误差。当电压扩展器元件精度为 1% 时，总误差不会超过 5.42%，电压扩展器的固有误差低于此。在整体频率响应被测量之前，可调电容器被调整在 15MHz 的中心频率上。

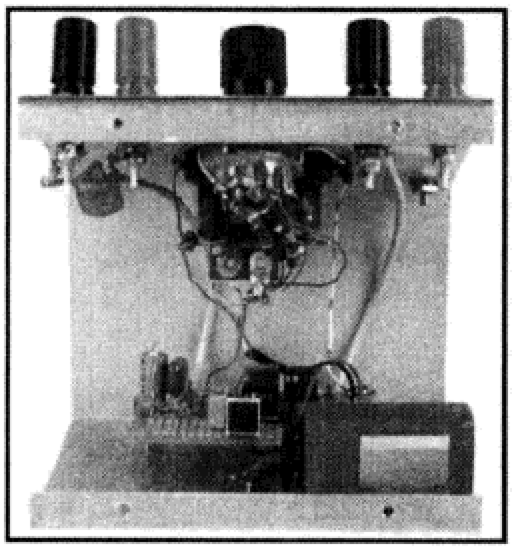


图20 电压表内部图。RG-174同轴电缆 连接输入和输出香蕉插座到电路板。可以看到波段开关、接线支架条以及电池。

电压表

电压表配合RF探头使用时可获得许多成效：其一，增加了探头和DVM的测量精度，在电压100mV RF时的测量误差从-45% 降低到-3.5%，在更高的电压情况下，相对于使用探头加DVM，误差降低的效果约为5:1，灵敏度和准确性同时得到提高，其二，使用电压表后由探头二极管造成的非线性情形减少并对探头二极管的温度漂移提供补偿；其三，电压表中有一个误差为±5%的面板表头来显示测量结果，同时提供一对DVM输出接线柱，用于在需要得到更高的准确性和精确度时接入一台DVM；最后，因为电压表非常轻便，可以在探头输入连接座上使用鞭型天线进行低电平场强测量。由于整个系统良好的灵敏度和准确性，探头可以在工作室周围许多地方使用。

探头二极管的非线性响应通过电压表中的电路得到改善。运放CA3160反馈回路中的二极管和探头中的二极管相匹配，当两个二极管完全匹配时，误差消失。当应用于RF时，通过二极管的平均电流必须相等，以保证电压降相等。

图19中显示了校准电压表的三个电位器点。校准工作应在400Hz进行，可以避免RF带来的影响。100kΩ点通常用来对CA3160设置零偏置，但在这里是为了在100mV输入时设置偏置为0.5~1.0mV。当输入为100mV时，调整1M电位器使输出为100mV，当输入是3.0V时，调整10kΩ电位器使输出为3.0V。反复调整三个调整点直到100mV与3.0V点都被调整正确。100kΩ电位器对100mV点微调是有效的。在校准期间，需要一台DVM连接在电压表输出接线柱上。

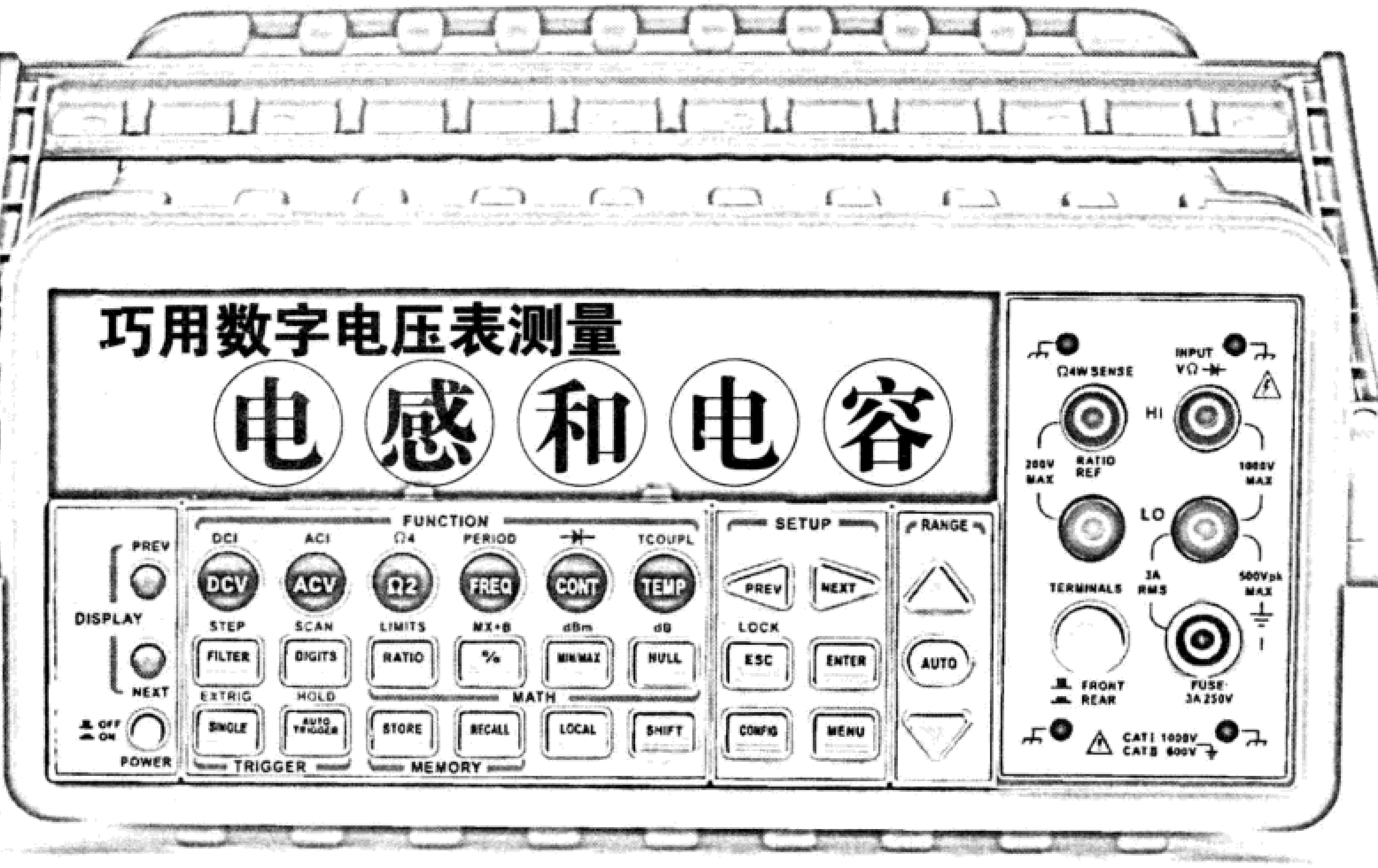
由于具有1.5TΩ的高输入阻抗和320 000的高增益，运放CA3160 被用作输入放大。虽然内部提供保护二极管，笔者认为它对静电放电还是很灵敏的，因此需要仔细地处理。使用IC插座可以在IC损坏时更容易进行替换。CA3160的后级为LM358N（见图19），主要用来驱动面板表头，如果使用DVM 作为显示，可以省去LM358N电路、表头和多置开关。唯一的损失是失去了电池电压检查和电源接通/断开开关。当多置开关被省去后可以增加一个开关用以控制电源的通断。CA3160运放电路不需要范围开关就能覆盖100mV~3.0V的范围。

制作

一个5英寸 × 5英寸 × $4\frac{1}{2}$ 英寸的倾斜面板仪器盒被用来安装电压表的元件。表头安装在前面板，正面尺寸为2英寸 × 2英寸，需要在面板上开一个$1\frac{1}{2}$ 英寸直径的安装孔。虽然现在使用的是一块从储物箱中翻出来的50μA表头，但1mA满度的表头也可以很好地工作，此时表头串联的电阻也应相应改变。

双刀5掷的旋转开关用来改变表头指示范围、测试电池状况以及关断电源。两个双联香蕉插座分别用于接收来自RF探头DC信号的输入和为DVM 显示提供电压的输出，而不管面板表头是否被使用。在盒子的后方，一个微型插座用于接入外部9V供电。IC和其他零件被安装在多用印制板上。电路板通过绝缘支架固定在机箱背板并连线到前面板上的部件。安装完成的电压表内部如图20所示。

巧用数字电压表测量电感和电容



◎王浩森（BA3CE） 王东平（BA1AAX） 穆新宇（BD1ES）译

很多人都有DVM (数字电压表) 或VOM (电压电阻表)，但是只有少数人才拥有电感或电容表。如果我们想了解手中元器件的参数，又没有电感或电容表，该怎么办呢？下面，我们就教你如何利用一些简单的电路来帮忙。

电路制作

让我们花上一个晚上为DVM或VOM增加一个附加装置（如图1和2所示），就可以满足测量电感或电容的需要。测量的准确性可以根据已知的器件来校准。整体准确性只取决于校准值而不是建立电路的器件。如果校准仔细，使用DVM的整体准确性可以期望达到10%，使用VOM则要小一些。

所有元器件安装在一个小的实验板上，如果你喜欢也可以在面包板上构建。很多构造技术都可以满足要求，包括使用导线或点对点焊接。

DVM/VOM电感测量适配器

设计思路

电路如图 1所示，它将一个未知的电感数值转换为可被DVM或VOM显示的电压值。3~500μH间的值可使用低范围挡测量，而100μH~7mH则使用高范围挡。与非门IC1A构成一个两频率RC方波振荡器。输出频率（3脚） 在低范围挡大约为60kHz，而在高范围挡为6kHz。方波输出经IC1B缓冲，并加载于由R3和未知的电感L_x构成的微分器。引脚9产生的脉冲流与R3-L_x时间常数成比例的衰减。由于R3是常数，衰减时间就直接与L_x的值成比例。IC1C正向形成尖峰，引脚8产生的负向脉冲流宽度与L_x的值成比例。

经IC1D反相，在R4-C2积分并在输出“＋端”形成一个稳定的直流电压。产生的直流电压和L_x与振荡器的重复率成比例。R6和R7用来校准单位量，这是通过设置对应于未知的电感的直流电压的重复率来达到的。VD1的0.7V结电压为在低电感范围挡电表调零电位器R1提供了一个恒定的参考电压。

当S1为低时，mV对应于μH；S1为高时，mV对应于mH。一个灵敏的VOM在分辨率降低后也可替代DVM。

测试和校准

将L_x终端用一段导线短接，连接一个输出范围为200mV的DVM。调整R1到零读数。移开短接部分用一个约400μH的电感替换，设置S1到低（in）位置，调整R7使读数等于接入已知电感时的读数。置S1到高位并连接一个已知约5mH的电感，调整R6到对应的值。例如，如果校准电感的实际值是

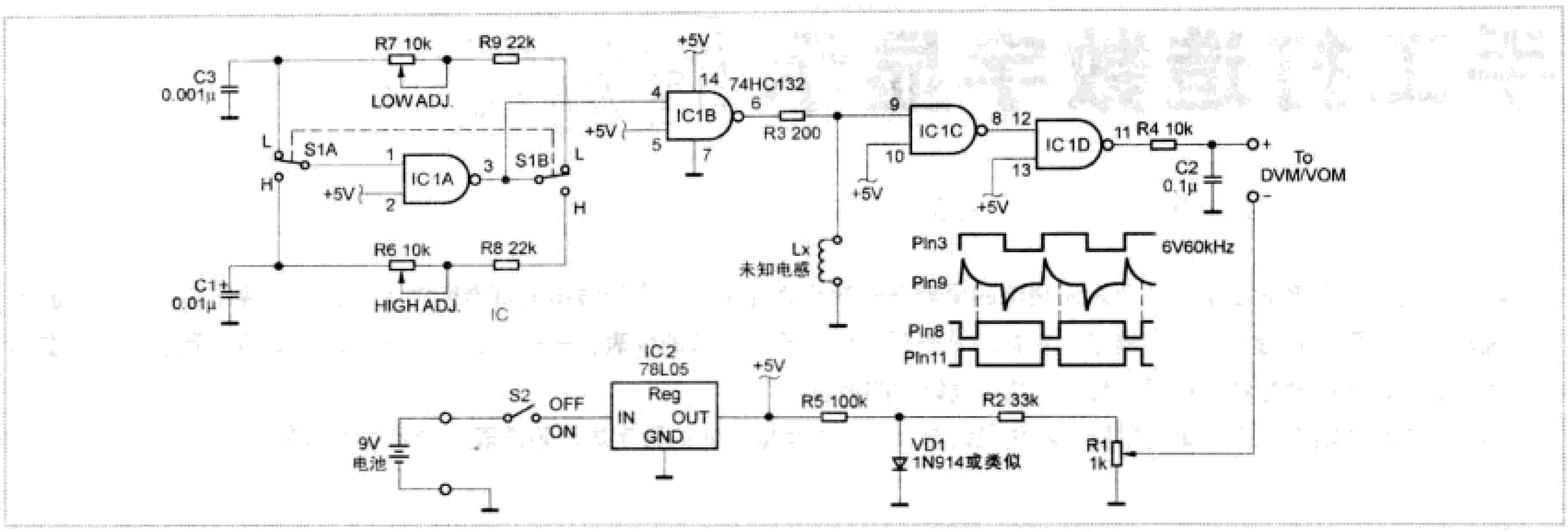


图 1　所有元件的误差为10%，VD1选用1N4148或性能相近的其他二极管，78L05可以用LM7805替代。所有固定电阻采用1/4W碳膜电阻。电容值为μF。根据校准的情况R3 值也许需要轻微地被增加或被减少。

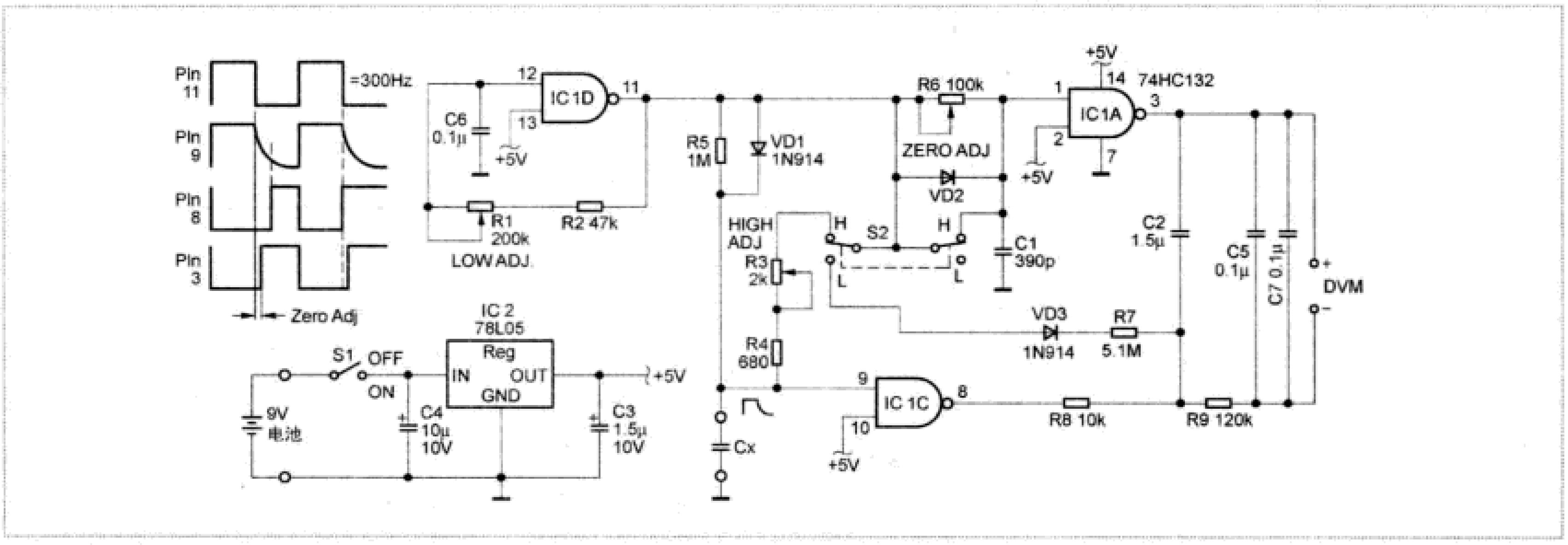


图 2 所有元件的误差为10%，78L05可以用LM7805替代。所有固定电阻采用1/4 W碳膜电阻。 电容值为μF。

4.76mH，调整R7使得DVM读数为476mV。

DVM/VOM电容测量适配器

设计思路

电路如图2所示，在L挡可测量2.2~1000pF的电容，H挡可测量从1000pF~2.2μF的电容。IC1D74HC132（11脚）产生一个300Hz方波时钟，在上升沿C_x迅速地通过VD1充电，而在下降沿C_x在L挡通过R5、在H挡通过R3、R4慢慢地放电，导致IC1C的引脚8在一个固定周期内产生不对称的信号波形并与未知电容C_x成比例。这个信号由R8-R9-C2积分，在表的负极端产生了一个直流电压并与未知电容成比例。表的正极端的恒定参考电压是由在IC1A脚3的方波积分产生的。通过R6修改方波的对称性可以在电表正极端的参考电压上产生一个微小改变以在L挡进行调零。DVM测量正极端和负极端之间的电压差，这个电压差与未知电容成比例。

测试和校准

当电容器不接入输入端时，S2设置为L挡并且在输出端接入DVM。设置DVM 到2V范围，调整R6使表的读数为零。将一只1000pF校准电容器连接到输入并调整R1使DVM读数为1.00V。转换SW2到H挡并连接1.00μF校准电容器，调整R3使DVM读数为1.00V。校准电容器不必确切地是1000pF或1.00μF，只要已知其实际值。例如，如果校准电容器已知为0.940μF，调节输出的读数为940mV。

总结

这种方法简单易操作。怎么样，还不赶快动手测一测你身边的元件！

手工打造数字显示陷波表

◎王浩森（BA3CE） 王东平（BA1AAX） 穆新宇（BD1ES）译

陷波表是一种古老的设备，从业余无线电的早期开始就成为几乎每一个无线电爱好者所钟爱的工具。除了万用表，陷波表可以说是无线电爱好者最常用的仪器了。多数陷波表可以作为感知频率的仪表，一些陷波表还可以连接耳机听到表头不能显示的信号，因此无线电爱好者都希望拥有一台性能良好的陷波表。

但是，成品的陷波表价格比较昂贵，本文向读者介绍一种简单易做的数字显示陷波表，希望对大家有所启发！

电路原理与制作

这个陷波表主要包括两个部分：模拟电路部分包括FET晶振、倍压检波器、直流偏置电路和放大器，数字电路部分包括一个高阻抗缓冲器、预分频器、计数器、数显驱动、LED显示器和控制电路。

我们可以把它分解为4个不同的功能模块，如图1所示。RF振荡器是由结型场效应管VT1组成的标准的科尔皮兹振荡电路，工作频率范围为1.7~45MHz。200pF可调节电容提供了一个2:1的频率调节范围。而2:1的频率调节范围需要一个4:1的可调电容容量调解范围。所以可调电容的最小容量不能大于70pF。L1的值是由线圈的绕组和实际所得的高低频率值实验决定的。表1里的元器件值是根据电路图计算得出的。线圈的尺寸由实验决定，并使用20号漆包线以直径约32mm的插入式排绕线圈形式绕制而成。所示线圈匝数只是一个起始值，你可以改变匝数来覆盖所需的频率范围。

抽头电容被安装在线圈内，以便需要时可以根据不同波段进行改变。对于低波段，由于所需电容的容量很大，所以波段间频率比小于2:1；而在高波段由于所需电容值很小，所以波段间的频率比大于2:1。

在模拟显示电路部分，为了获得更高的灵敏度，输入信号通过倍压检波送到附加直流偏置电路IC1A，调节电压偏置可变电位器RP1可以从检波器电压中减去一个直流偏置值。这可以使灵敏度可调放大器IC1B在检测输出电压改变时变得更加灵敏。VT10是一个射极跟随器。表头的串联电阻用来限制电流到一个安全值。如果使用一个1mA表头，电阻为8.2kΩ。

预分频电路的输入部分由高阻抗缓冲器VT2和放大器VT3组成，我们需要注意振荡器和缓冲器/放大器电路的布线，这可以保证在全部频段范围内都工作正常。预分频电路的数字部分是由两个除以10的器件IC2和IC3组成的除以100的电路，所选的器件都是可购得的。任何类似的器件只要复位电路一致都可以使用。电平转换器VT5可以将5V信号转为9V。

数字显示电路模块的第一部分是振荡器 IC1C，它为频率计数器产生一个闸门时限。RP3 调节振荡器的频率到 500Hz，产生 1ms 的闸门信号。校准这个频率的方法是在通信接收机上接收陷波表输出，并且调节 RP3 使得显示与接收机一致。一旦在一个波段按此校准后，所有其他波段也就校准了。IC1D 为 IC1C 提供低阻抗电压参考。振荡器增加了 VT9，这样就排除一个可能导致计数器不能正确触发的小缺陷。这种类型的振荡器具有简单、便于调整的优点，而且可以得到低频率输出。

数字系统控制器IC6是一个除以10的计数器。它有10个解码输出，当计数时钟输入时相应的解码输出端电平就会变高。Q0输出被用来复位频率计数器IC4。Q1输出被用来使能预分频并且阻止显示。Q2输出被用来锁存频率计数器的计数值。因为当VT1很高时，预分频器只能用来计数，它通常只在1ms有效。1ms的闸门产生1kHz的分辨率，使用一个除以100的预分频时，分

表1 计算得出的陷波表线圈数据

频率（MHz）	电感（μH）	匝
1.7~3.1	48.6	52
2.8~5.9	16.3	23
5.6~11.9	4.0	9
9.7~20.7	1.3	5
19.0~45.0	0.3	2

Tips

陷波表实际上是一台振荡器，所以它可以在对准确性和稳定性要求不高的情况下作为一台信号发生器使用。

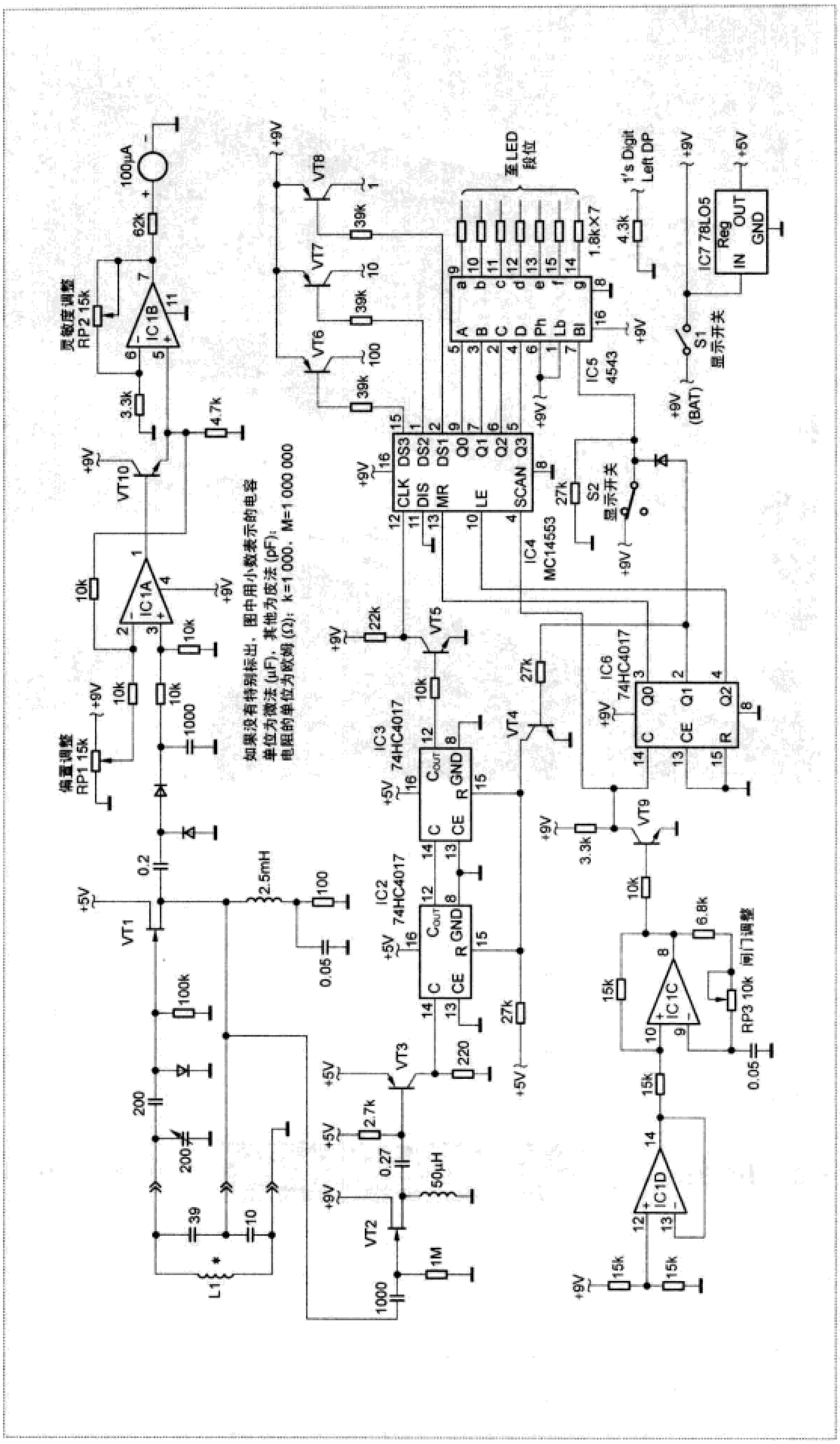


图1 数字显示陷波表电路图。所有二极管是1N914 或相似的。所有电阻器均为是1/4 W，5% 。VT1、VT2-MPF102 JFET 晶体管，VT3、VT6、VT7、VT8–2N3906 PNP晶体管，VT4、VT5、VT9、VT10-2N3563 (或其他满足要求的)NPN晶体管，IC1-LM324，IC2、IC3-74HC4017，IC4-MC14553，IC5-4543，IC6-4017，IC7-78L05。

辨率为100kHz。

频率计数器IC4是一个BCD输出三位数字计数器。时钟输入通过预分频时，RF 振荡器频率被除以100，这个信号在每10ms中出现1ms。数字扫描由IC1C500Hz振荡器控制。

IC5是BCD7段解码驱动器，用来驱动7段LED数码管的段显示。VT6、VT7和VT8驱动数码管的位显示。LED数码管显示计数器IC4的计数输出值。IC7是一个5V调整器，它允许使用一个9V电池对电路和LED供电。当调整到陷波点时S2用于打开显示器。

当LED关闭时，电路的电流消耗为20mA，而当LED运行时为35mA。

许多电阻阻值的选择要求并不严格，而是基于实用的考虑。运算放大器电路的选择主要取决于阻抗率。VT3基极耦合电容，选择0.27μF具有优良高频特性的磁片电容，以保证在整个工作频率范围内工作良好。

整个电路安装在一个10cm见方的万用板上（可放下12个IC），并装在一个17.8cm×12.7cm×7.62cm的小盒子内。

操作方法

顺时针调节电位器RP2到最大灵敏度，并调整RP1使表头指针指向刻度中央位置。将探头L1靠近测试电路并调整可变电容改变陷波表震荡频率。当震荡频率接近被测电路谐振点时，电表将偏转向下变化，如同能量被电路吸收一样。为了能使这种变化趋于明显，你可以随时调整RP1使表头指针保持在刻度中央附近。当调整陷波表频率到达陷波点时，LED显示的读数就是被测电路的谐振频率。

对测试电路应使用尽可能小的耦合，这样你才能获得最佳结果。如果陷波表同测试电路耦合过紧，RF振荡器频率将会因受到影响而改变。

万用表也发烧

◎杨法（BD4AAF）

■既然是发烧，那就无需讲究性价比，发烧友所注重的往往不仅仅是物件本身的主要功能，也关注物件的历史、制造工艺、材料选用等方面——除了使用意义外，更多地突出其性能意义、收藏意义、品牌意义和历史价值。

万用表是最常见的也是历史最悠久的综合性电子测试工具之一。对于仪器爱好者而言，发烧万用表别有乐趣。万用表的发烧通常可分为：品牌发烧、性能发烧、工艺发烧和稀有古董发烧。

品牌发烧

品牌发烧主要指对万用表的品牌特别感兴趣，收集固定品牌的产品。在数字万用表界，著名品牌有Fluke、HP/Agilent、Datron、Solarton、Schlumberger、Wavetek、Prema、Keithely、Advantest、Thurlby和GMC等。这些厂家都曾拥有业界高端的技术能力，不少都出品过到目前还是最高精度水平的8$^1/_2$位万用表以及众多经典产品。虽然这些品牌的厂家中不少已经不存在了，但他们的经典产品依然在世。

1 FLUKE福禄克公司

成立于1948年，为各个工业领域提供优质的测试和检测故障的产品，产品覆盖工业测试仪器、精密测试仪器、网络测试仪器、医疗测试仪器以及温度测试仪器等。FLUKE在世界范围内有不可撼动的手持万用表领导地位，同时它也生产一些台式高精度万用表产品。FLUKE品牌的万用表在国内几乎就是高性能高品质的代名词，很多电子工程师和电子爱好者都以拥有一块高档FLUKE万用表为荣，自然FLUKE产品也就成为发烧友追捧的对象。FLUKE万用表是它的拳头产品。除了生产各类万用表外，FLUKE还出品各类万用表校准设备和基准计量设备，我国的各级计量院所使用的大部分电压基准设备都是FLUKE的产品。

2 Agilent安捷伦科技公司

1999 年HP（惠普）的测试和测量部门以及相关部门从HP分离出来所建立的独立公司。Agilent延续了 Bill 和 Dave 于 1939 年在 Palo Alto 车库里创立的传统测试和测量方法，现已发展为一家完全独立的测量公司，并借助其出色的创新特色及其他各类优势，引领测试和测量行业昂首跨进 21 世纪。Agilent的高端产品覆盖了电子测试与测量以及生命科学与化学分析等各个领域，提供了世界上最顶尖的电子仪器设备。Agilent的产品秉承了HP的经久耐用和出色品质而广受用户的欢迎，很多超过20年机龄的精密电子仪器依然能正常工作。由于Agilent与HP的渊源，所以早期出品的产品依然是HP品牌，而同样型号的后期产品会使用

Agilent品牌，比如著名的34401A万用表。万用表在Agilent众多尖端电子测量仪器中并不占很大的比重。过去HP也曾生产过多款经典万用表，当时HP主打的是高精度的台式表，从五位半的3468A到顶级八位半的3458A有多个产品覆盖各个性能档次。HP也有手持式万用表E2373A/E2378A，只是国内使用较少，不过只要有HP的金字招牌，就是发烧友追逐的对象。近年来Agilent推出了新一代全系列U1241A、U1242A、U1251A、U1252A、U1253A、U1401A手持万用表和U3401A、U3402A 四位半和五位半台式万用表，这样便完整了从中档手持表到高端八位半顶级产品的产品线，Agilent在万用表市场再度活跃。

3 Tektronix泰克公司

创立于1946年，以其高性能示波器闻名全球，高端频谱仪的制造技术也是泰克的强项。Tektronix虽然没有顶级分辨率的万用表产品，但其过去出品的三款手持万用表TX1、TX2、TX3还是相当有特色的，加上Tektronix金字招牌成为发烧友不可多得的珍品。Tektronix目前主推的三款六位半的DM4020、DMM4040和DMM4050台式万用表在同级产品也有一定功能优势。

4 Keithley吉时利仪器公司

具有超过60年的测试和测量经验，产品定位在高精度的测量仪器与数据采集产品。Keithley早期就关注于台式数字万用表的制造，推出了众多台式数字表产品，其产品涵盖3位半产品到八位半数字表各种档次。在二手市场上，其五位半的195和六位半的192是最常见的进口台式数字万用表。其高端的八位半2002和七位半的2001/2010在同级别产品中体积最小。

5 Thurlby Thandar Instruments

是一家英国老牌的测量仪器生产厂家，很早就开始生产高精度台式万用表，目前其公司产品已经拓展到音频、射频以及EMC领域，它的掌上频谱仪携带性能超一流。TTI的产品在国内早期用得较多，二手市场上还能常见到Thurlby 1503和1905A产品。TTI目前主打的台式数字万用表有1906、1705 和 1604三款，属于五位半和四位半的产品。

6 GMC Instruments杰目测

是一家德国著名的测试仪器生产企业，在万用表方面GMC主打高端手持产品，其大部分数字表都达到四位半以上的水平并有很多4 $^{6}/_{7}$位的产品。其中METRAHIT 30M具备六位半的精度，可以说是世界上最高精度的手持表，同时GMC还生产高品质的传统指针表。

7 Advantest爱德万公司

是一家日本著名的仪器生产厂家，产品主打电子测量仪器和IC测试系统。在电子测量仪器方面，其频谱仪和网络分析仪具有较高的性价比。万用表方面，爱德万出品R6581八位半高端台表，展现了其技术实力。爱德万也提供从四位半到六位半的台式表，有些万用表在同档次产品具有较高的性价比。由于不是欧美品牌，所以Advantest被发烧友关注得比较少。

8 英国Schlumberger与Solartron

合并出品过一些高精度万用表，以台式表为主，包括Solartron/Schlumberger 六位半的7151、7150、7065等，七位半的7071、7075以及八位半的7081。Solartron 7081是世界上最早推出的八位半数字表。Solartron有些六位半的型号在国内也有组装。

9 Prema普瑞玛公司

是一个来自德国的品牌，曾经也生产过高精度的台式数字表，代表产品有七位的Prema 5075、七位半的Prema 5017 、八位半的Prema 6048，是早期能够独立生产顶级八位半数字表的厂家。Prema在国内知名度不高，国内曾组装过它的一些产品，比如七位半的Prema 5017在国内就有一定的使用量。它采用点阵液晶屏显示并有菜单功能，属于比较有特色的数字表。

10 英国Datron

先后与Wavetek以及FLUKE合并，所以早已看不到Datron和Wavetek品牌的新品万用表了。不过，在二手市场上Datron的万用表还是可以经常看到的，如七位半的1071和六位半的1065A，它们也都算得上高精度的产品。

通过产品收集我们可以看到，一些不同品牌的高端产品从外型上看很相似，这是由于它们很多都是一些公司合并后技术的延伸。目前业界最著名的八位半表——FLUKE 8505A（见图1）与当年Datron 1281（见图2）和Wavetek 1281（见图3）是否有几分想象？

性能发烧

玩性能发烧的发烧友主要关注欧美名牌的高精度表。

◆台式表方面一般集中在六位半和七位半的万用表上，五位半的表只能算是初烧。由于在二手市场上八位半的万用表极为稀少，而性能品相具佳的就更少了，再加上价格昂贵，所以只有骨灰级发烧友才会考虑。而Agilent 3458A（见图4）是二手市场相对容易找到的、性能有保证的八位半万用表。六位半和七位半的台表相对较多，HP/Agilent的产品还是大家的最爱。早期的HP 3457A七位半的表在二手市场上的价格要比3458A便宜得多。发烧友最钟情的六位半台表是HP/Agilent 34401A（见图5），这是HP/Agilent比较新款的万用表，体积小巧时尚、操作简单而且采用VFD显示屏，显示效果比老式的HP万用表采用的LCD显示屏好得多，其直流精度达到0.004%，属于很不错的。当然很多人都想要性能更好的34420A，不过近4倍的价格不是

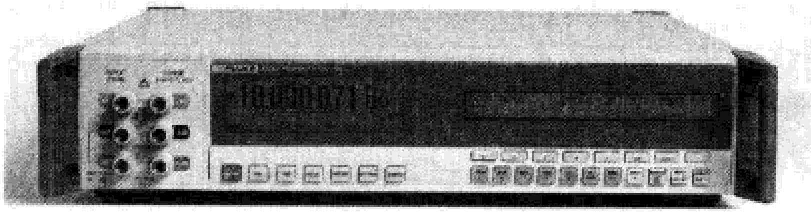


图1 FLUKE 8505A

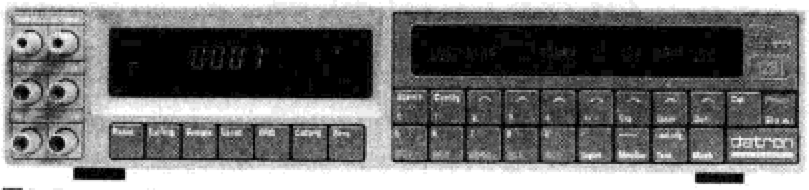


图2 Datron 1281

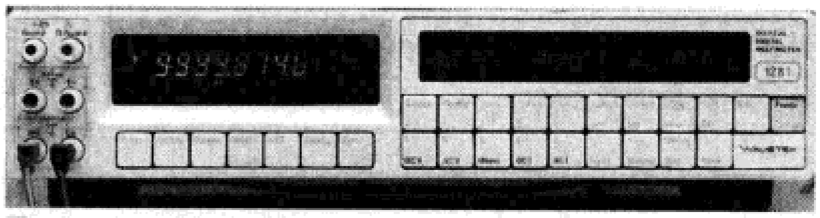


图3 Wavetek 1281

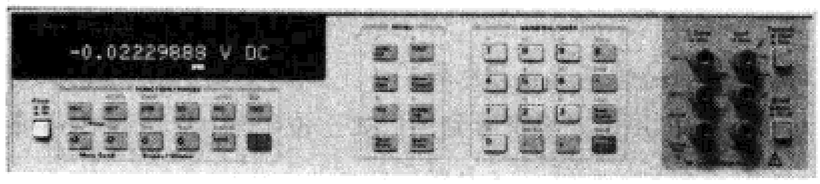


图4 Agilent 3458A

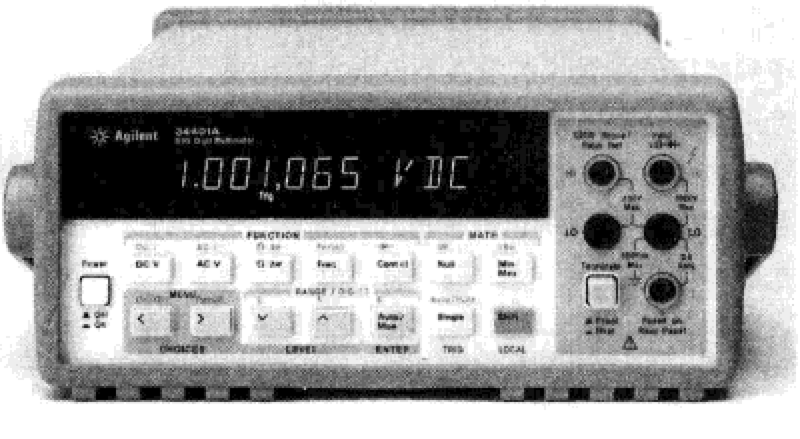


图5 HP/Agilent 34401A

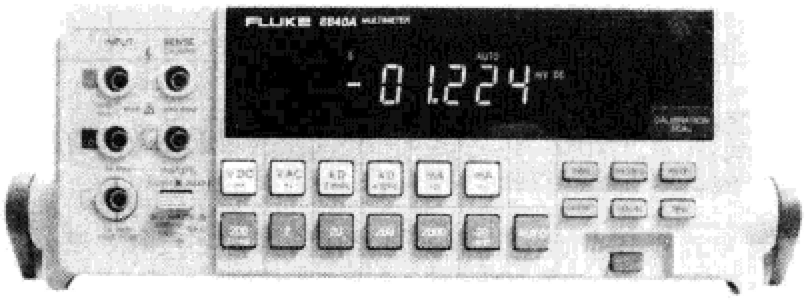


图6 FLUKE 8840A

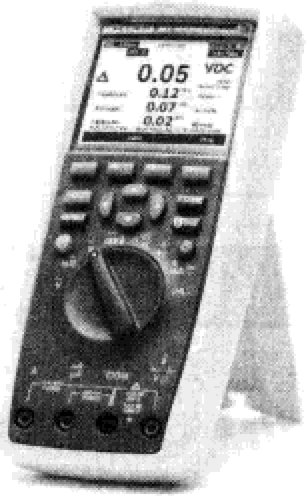


图7 Fluke 287

图8 Tektronix TX3

图9 Agilent U1253A

图10 METRAHIT 30M

普通人能接受的。在五位半表方面，HP的爱好者多认准HP 3478A，从手持表一路发烧而来喜欢FLUKE的发烧友则更多选择五位半8840A（见图6）和五位的F45。

◆手持表主要集中在名牌的高端系列。FLUKE 187和189是发烧友的最爱，很多预算不足的朋友花一千多元就能买到二手货，有钱的朋友自然选择FLUKE 287/289（见图7）。想要与众不同的发烧友可以来一块二手的蓝壳Tektronix TX3（见图8），绝对可以在一大堆黄壳的Fluke中鹤立鸡群。新的Tektronix TX3现在基本买不到，如果非要买新品，Agilent U1253A是除FLUKE外的最佳选择。U1253A（见图9）外观上最炫的是采用OLED显示，视觉效果绝佳，要是在昏暗环境中使用效果一流。从U1253A的性能上来讲，四位半的分辨率和0.025%的基本直流精度完全属于高档万用表的档次，创新的内置20 MHz频率计数器和方波发生器扩展了其应用。追求极端高精度手持表的发烧友一定不会错过德国GMC的METRAHIT 30M（见图10），这是一款很少见的六位半手持表，其性能甚至可以与著名的Agilent 34401A台式表叫板，指标方面各有胜出，不过作为手持表能有如此配置实在难得，同时近万元的售价也是发烧的价格。

工艺发烧

烧制造工艺的发烧友大多对传统指针表感兴趣，国产万用表中的名厂高精度表自然是发烧友的首选目标。直流精度1.0级的MF35型（见图11）和MF18型，直流精度达到1.5级的MF12型和MF14型，具备高灵敏度表头提供10mA测试挡和直流内阻达100kΩ/V的MF10型。这5款特制表是发烧必备的机型，厂家必然是上海电表四厂，而且还是要内部大量使用线绕电阻的老表，最好还带上牛皮箱。上海第四电表厂现在使用星牌商标，该厂由震华电器厂演变而成，1967年厂名一度改为上海遵义电表厂，1974年变更为上海第四电表厂，所以在一些早期的产品中会使用“上海遵义电表厂”的厂名。高档表头的精湛机械工艺不是电子线路所能比拟的，就像机械手表和石英表的区别一样。国外品牌中发烧的主要有德国GMC，它的一款METRAport 3A（见图12）是进口指针表中的精品，折叠式设计搭配高精度表头并具备有10μA和100mV高灵敏度测试挡。

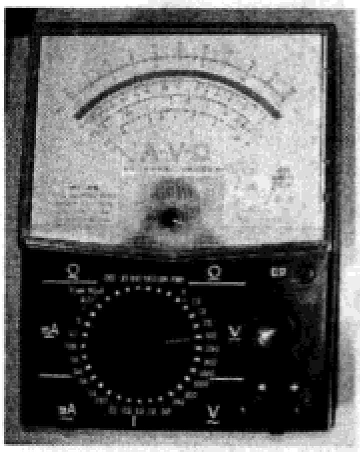


图11直流精度1.0级的MF35型

图12 GMC METRAport 3A

稀有古董发烧

国内指针表烧得还不够的话，国外一些古董表就是新目标，市场上较常见的有20世纪50年代以前的英国指针表，做工也很精细、颇具收藏价值。物以稀为贵，很多发烧友还特别喜欢稀罕玩样。有些特殊设计市场上很少见的万用表就成了收藏的精品。日本SANWA NA-910F（见图13）是一款指针液晶混合型万用表，它的液晶显示屏的主要作用是根据用户选用的挡位，动态的通过液晶屏显示对应的标尺，严格的说还是指针万用表。SANWA F80TRD（见图14）是一款设计特殊的古董万用表，它的量程拨盘设计于机身内并在面板上增加量程指示装置，为的是尽量利用表面空间。SANWA N-501（见图15）是一款超高灵敏度的万用表，它的灵敏度达到2μA！直流内阻达500000Ω/V DC。

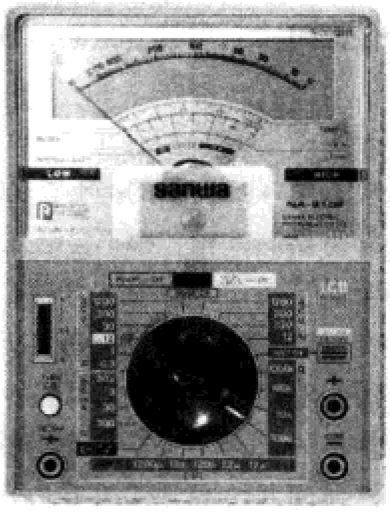


图13 SANWA NA-910F

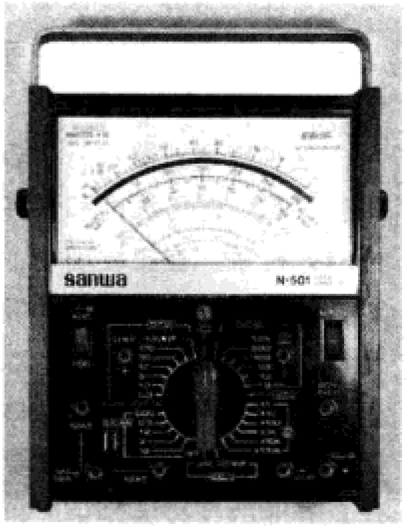


图15 SANWA N-501

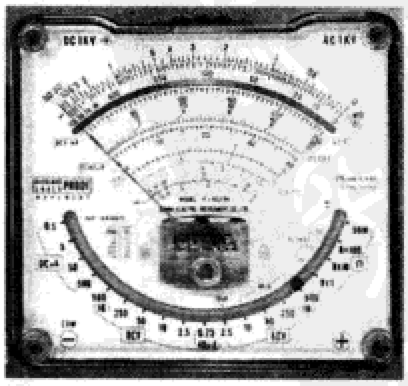


图14 SANWA F80TRD

OWON示波表试用报告

日前，笔者拿到一台OWON的手持数字存储示波表，它将数字示波器与万用表集于一身，方便携带且使用灵活，让人眼前一亮。笔者对这个OWON示波表与传统的名牌数字示波器进行了比较，有几点体会与广大读者一起分享一下。

◎杨绪业

示波器是最常用的电子仪器之一。随着电子技术的飞速发展，示波器早已融入电子行业的各个角落。示波器早已不再是老、大、笨重的科研仪器，已经根据不同的需要，不断的细分成适应各种不同行业的许多种类。尤其是随着大规模集成电路的不断普及，示波器现在已经可以像万用表一样可以随身携带了。

这种集示波器和万用表于一身的测量仪器，是工程师和许多在校大学生的好帮手。在工程现场，经常需要对多种信息进行判读，才能够全面了解信号的状态。这种OWON手持示波表集示波器与万用表于一体，能同时满足测量和检测波形的需要。现在的信息专业的在校大学生，也非常强调创新研究和实际动手能力的培养。

这种示波表具有多种触发功能，可以自动显示任何信息的稳定波形，无需其他繁琐工具，仅需一手掌握，即可满足所有测试要求，可以让在校大学生走出实验室，更广泛地接触工程实践，接触社会，更有效地开发自己的聪明才智。

便于携带

从外表就可以看出，这个示波表与常用的数字万用表的体积差不多。重量仅为690g，易于携带，并备有特殊设计的一体化绝缘保护套，可以在苛刻的工业环境中确保坚固耐用与可靠操作。

所有的探头、表笔和附件都可以装在原配的包里（见图1）。包分为两层，一层装示波器，另外一层可以装附件。

在工程中，这样的示波表是非常方便的，不管是拿在手上，还是装在包里，都不会给工程技术人员带来不便。

在大学里，很多信息专业的学生都已经配备了万用表，有些学校的学生是自己买的，有些学校的学生是向学校实验室借的，但是示波表还是必须到实验室去用。由于现在大学生扩招，课程都排得比较满，所以一般本科生甚至是研究生使用示波器也不是很方便。如果他们装备的是这种手持示波表，对于一般的信号测量，就可以随手进行了。这样的示波器放在宿舍里，带在身边，都不会给我们的学生朋友带来麻烦。

图1 该示波器装在一个便携包里。

可充电式锂电池可以确保你实现真正的移动工作，长达6h的电池操作时间也足够你应对紧迫的工作环境，完全摆脱了电源线纠缠的烦恼。

使用简便

我拿到的这台OWON示波表是HDS1021M型的，它集数字示波器与万用表于一体（见图2）。带宽是20MHz，实时采样率是100MS/s，单通道输入。它拥有多种高级触发功能，也支持U盘拷贝存储功能，3.8英寸的半反半透式LCD彩色显示，能让用户在任何环境下清楚地观察检测波形。

大家可以清楚的看到，面板上有3个和普通万用表一样的表笔插孔，使

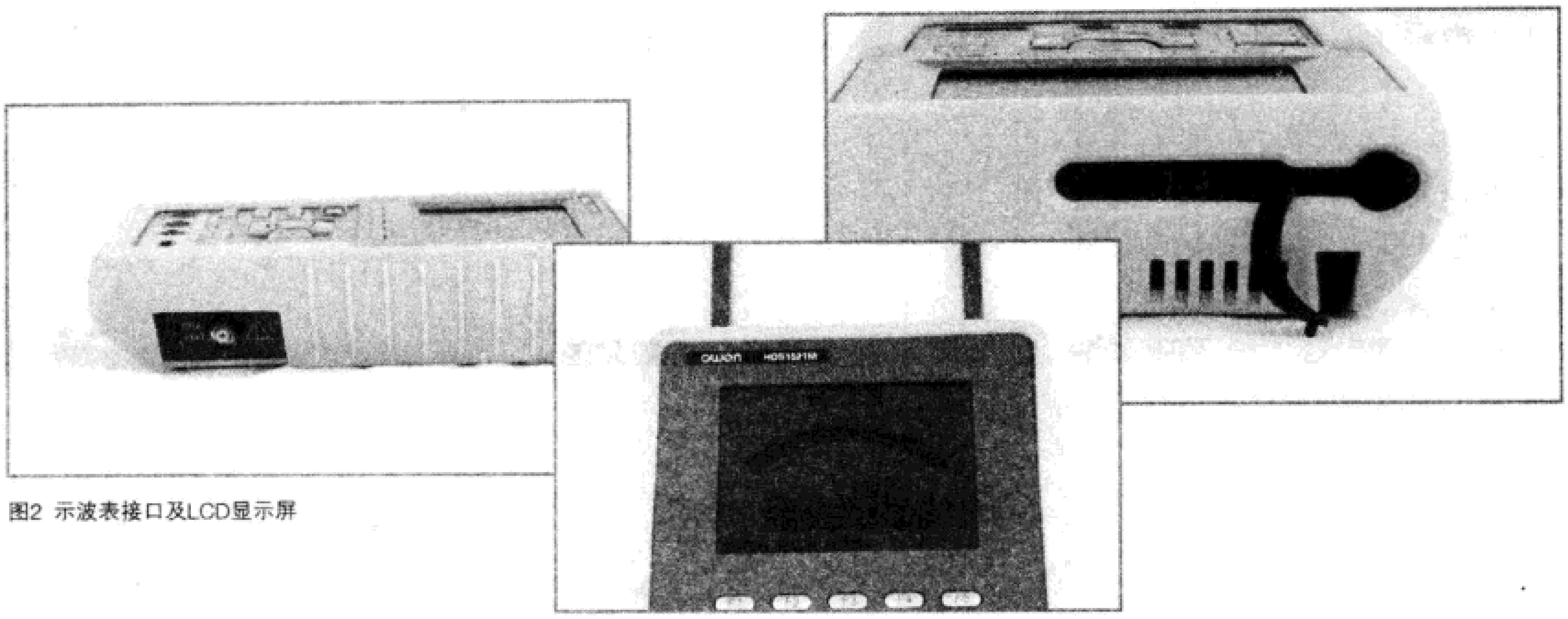
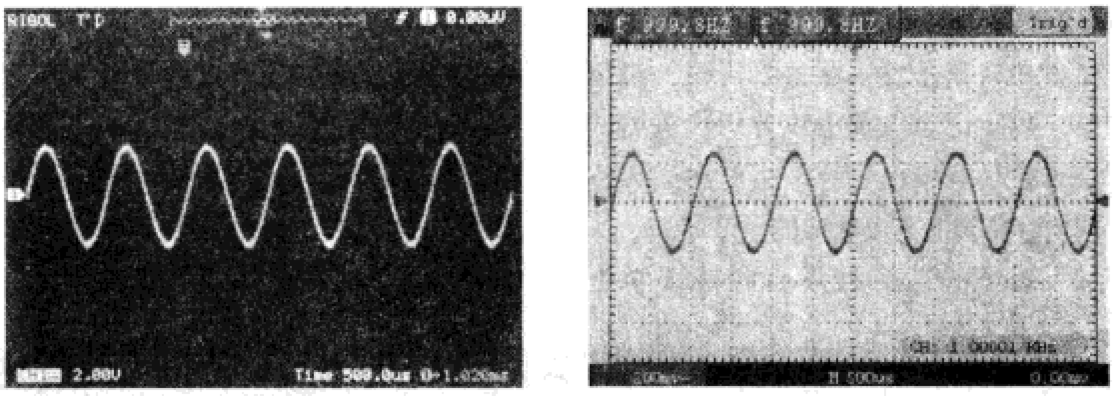
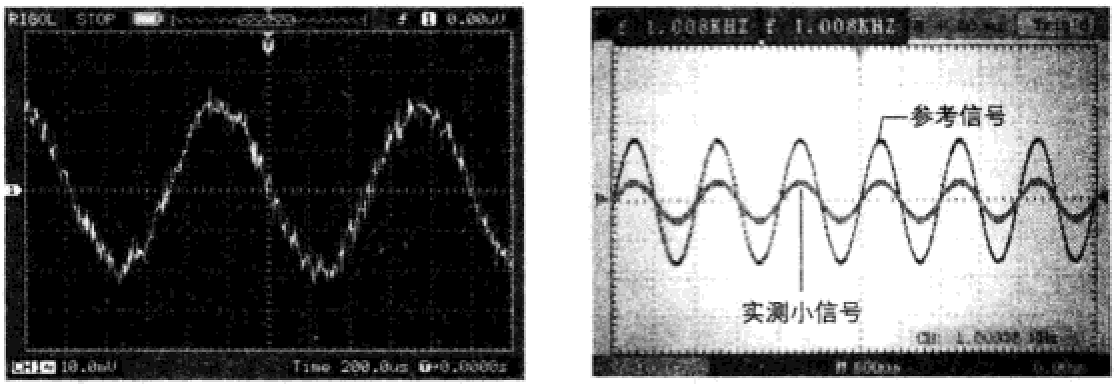


图2 示波表接口及LCD显示屏



其他示波器的波形　　OWON示波表上的波形

图3 OWON示波表和其他示波器的波形对比（测量普通波形时）



其他示波器的波形　　OWON示波表的小信号波形

图4 OWON示波表和其他示波器的波形对比（测量小信号波形时）

用起来与普通数字万用表没有任何的区别。比如，你想测量电阻，只需要插上表笔，按下电源开关和电阻选择键，就可以测量了，甚至不需要考虑量程。

如果需要使用示波表，那你就接上示波表的探头（它的BNC口在侧面），按一下万用表和示波器的转换键，一台数字示波器就呈现在你的面前了。和其他优秀的台式示波器一样，它也有一个“自动测量”按键。只需一按，OWON示波器便会自动显示出被测波形。

因为有高性能的锂电池支撑，所以在使用这台OWON示波器的时候，不需要连接任何电源线，你完全可以在闲置的时候对它进行充电。

它还有丰富的附件，在这里就不一一介绍了。

获得纯净真实的信号

刚拿到这台OWON示波表时，曾担心它不能替代普通的示波器，甚至不太相信它测量信号的可靠程度。把它拿到实验室，与同级别的现阶段流行的名牌（安捷伦、泰克）示波器比较之后发现，它能够为测量者获得纯净真实的信号。

我们一起来看一下实测的对比图（见图3）。OWON是白底红色波形，其他示波器是黑底黄色波形。从图中可以看出，对于普通的波形，在实验室的条件下，双方都可以清晰的获得纯净真实的波形。

可能你觉得，好像传统的名牌示波器更清晰明亮一些。其实对于观察者来说，这两个界面都能够清晰的看到真实的波形，因为它极普通不过了，又是在实验室的条件之下。而在工程中会遇到各种光线条件，这样OWON示波表就展示其独特的优越性了，尤其是在阳光下，3.8英寸半反半透式彩色液晶屏幕，也能清晰显示测量的波形。

普通的波形比较好测量，然而在

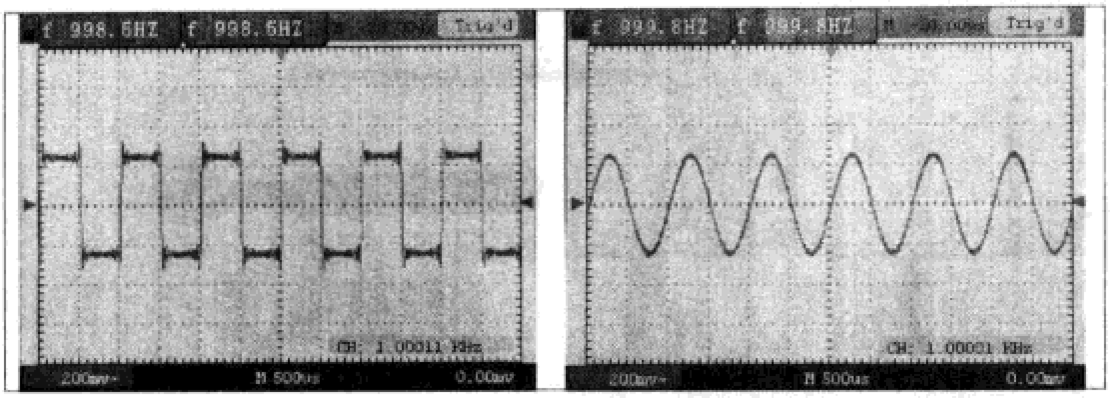


图5 用OWON示波器测量正弦波和方波之间的变换

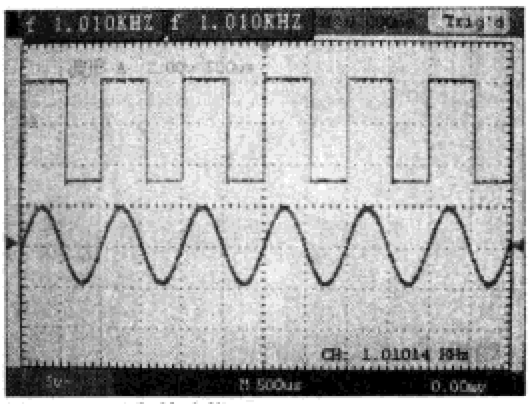


图6 OWON存储功能

小信号的条件下会怎么样呢？下面让我们再来看一下测量小信号时两个示波器的区别（见图4）。当信号比较小时，由于采样率的关系，普通的示波器的波形就不连续了，以至于用户不太好辨别被测信号的真实数据，而OWON示波器却仍然能够获得纯净真实的信号波形。

OWON示波器采用合理的DSP处理

示波器制造商通常会通过使用DSP来扩展示波器的带宽，但这也会影响信号。而带宽扩展和噪声的抑制，需要折中考虑。尤其是在工程使用当中，信号源不可避免地要与噪声同时存在。当人们通过带宽放大器放大信号时，叠加在信号上的噪声也同时被放大。OWON示波器则比较好地处理了扩展带宽和抑制噪声的矛盾，使得其显示的波形更清晰、更真实。

我使用OWON示波器做了一些常做的电子线路实验，感到非常便捷与准确。我们可以看一个测量波形变换的例子——正弦波和方波之间的变换，如图5所示。

我们使用了OWON示波器的存储功能（见图6），它可以将测量的信号储存在存储器里，且有4个存储器，可以存储4个不同的信号。存储信号可以同时显示在屏幕上，与被测信号进行比较。这样既可以比较两路不同的信号，也可以比较两个不同地点不同设备的信号，使用起来十分方便。

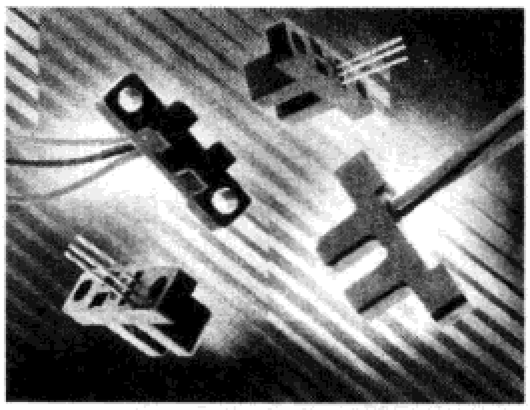
功能集成化是未来的趋势

众所周知，示波器制造商都在发展高度集成的产品，示波器的集成化已经成为主要的发展趋势。有一些厂商也在将信号发生器、万用表、频谱仪、数字记录仪和协议分析仪等测试仪器的功能集于一身，生产出适合各种场合需要的高度集成的示波器。

对于一般工程场合和普通学生使用来说，最需要的就是万用表+示波器。而且对于工程和学生的设计与实践来说，并不需要很高性能的示波器。让示波器普及到每一位需要者的手中并方便携带和使用，是电子技术和数字信号处理技术发展带给人们的实惠，当然也是示波器发展的一个必然趋势。不难想象，这种万用表+示波器模式的集成，将是实际需求当中最大的一种产品。Ⓦ

ZF电子推出 VN1015系列数字叶片传感器

ZF电子推出 VN1015系列数字叶片传感器，可用于不受水分和灰尘影响的应用中。这些数字传感器为磁性运行，因此无机械接触的磨损，拥有超长的产品寿命和可靠性。VN1015数字叶片传感器具有玻璃填充聚酯传感器主体，推荐使用低碳钢材料，厚度至少为0.040英寸。集电极开路输出使其用于有适当外部上拉电阻的双极或CMOS逻辑电路。最大运行速度为25kHz。反向电池保护达-24VDC。



Supertex推出闭环控制LED驱动器HV9963

Supertex推出闭环控制LED驱动器HV9963。该芯片具有PWM调光功能，包括1个带有三态输出的1.0MHz跨导放大器。该放大器在检测过程中关闭反馈回路，并提供精准的电流控制，可同步应用在多个LED驱动器上，以防止发生与驱动多个驱动器系统相关的次谐波振荡。它采用16引线SOIC封装，工作在恒定频率模式下，用于各种转换器拓扑，如降压、升压和SEPIC。

◎吴兵

实用插座式高精度电能表

在气候压力日趋增大的今天，全世界都在倡导“低碳生活”。在日常生活中，对于我们普通人来讲，“节能就是最大的减碳”。从少开一天车、随手关灯、使用环保购物袋到每天爬楼梯，形形色色，这种生活正在受到越来越多人的推崇。现在不少用户关心电器的待机功耗，但这很难通过自家的普通电能表测量出来，因为电器待机功耗一般比较小，用家庭电能表测量需要较长时间，测量期间其他电器不能用电，影响使用。而且家庭电能表最小仅为0.1度，精度较低。能否用已有的廉价器材制作一个外形小巧、使用方便、精度更高的电能计量装置呢？我对身边闲置的脉冲式电子电能表和跑步计步器两个器材进行研究后，认为上述想法是可行的。

实用插座式高精度电能表采用了光电隔离技术，主要由单功能计步器、闲置脉冲式电子电能表主板和排插组成。2009年12月，我辅导学生共同设计了这款电能表，并参加了江苏省“爱士杰杯”创新大赛，获得三等奖。它成本低廉、容易制作，并具有一定的实用价值，推荐给广大电子爱好者。

设计思路

1. 脉冲式电子电能表

脉冲式电子电能表由外壳、接线端子、电流取样电阻、主板、机械计度器等几部分组成。主板上有一块大规模专用集成电路（见图1），本例采用的主板上的集成电路型号为上海贝岭BL0932（同类产品还有BL0933、GW6832等）。

此主板上有个光电耦合器，输出有功功率计量快速脉冲信号。输出脉冲信号频率和电能表上用来指示脉冲个数的红色发光二极管闪烁频率一致。这个信号可以由光电耦合器引出，送给接口电路处理，处理后的信号送给计步器进行计数。

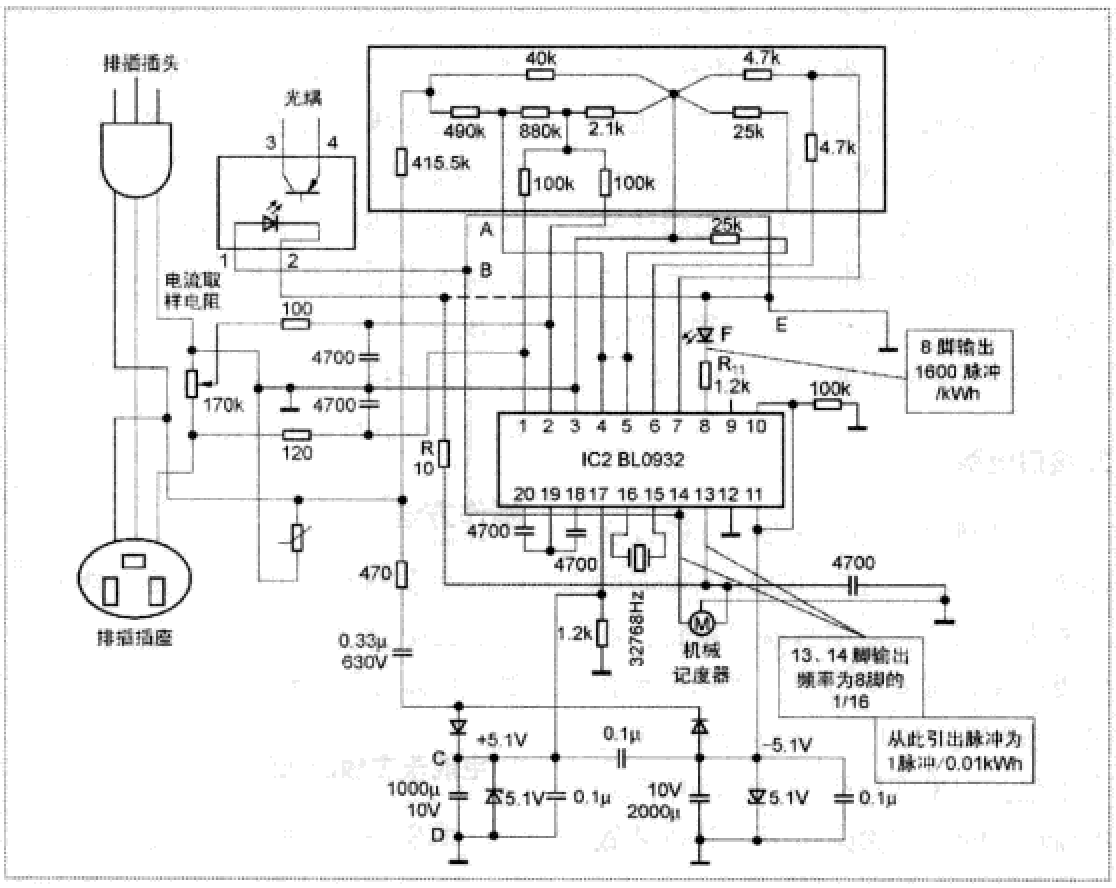


图1 电能表主板电路原理及其改动

电能表主板的面积很小，但机械记度器和接线端子体积较大，用跑步计步器替代原电能表中的机械计度器，并且去掉接线端子，就可以把电能表主板和计步器放入排插中，做成插座式电能表，还能提高计量精度。

2. 计步器

选择 3~5 元钱不带自动关机的计步器即可，耗电低且抗震，可使用近

> **Tips** 对于1600imp/kWh（每度电的脉冲个数）的电能表来说，这个红色发光二极管每闪烁1600次，表示刚好消耗1度电。

> **Tips** 计步器一般是5位数显示，后两位是小数位。你可以在计步器液晶显示屏上用黑色中性笔作个小数点，让其复位时显示为000.00，这样读数更方便。

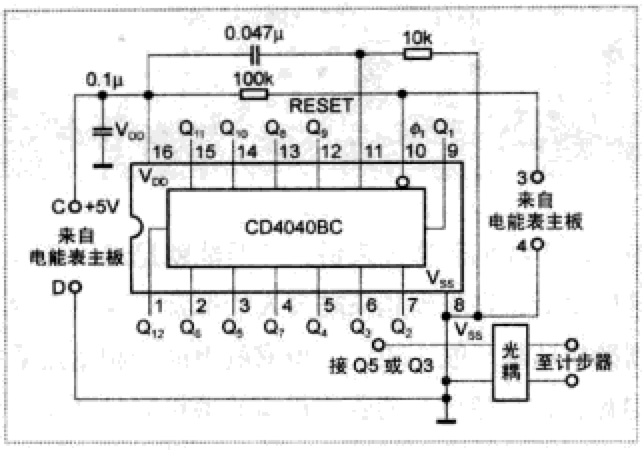


图2 接口电路原理图

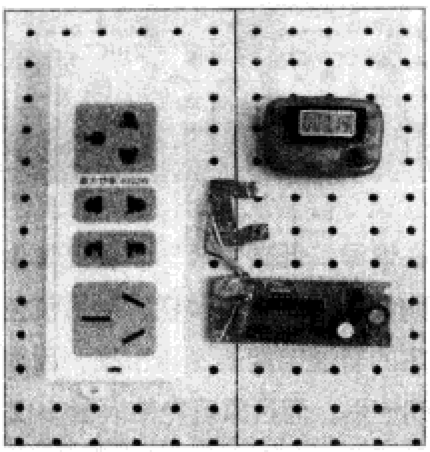


图3 主要材料

一年。

计步器主要由振动传感器和电子计数器组成。振动传感器其实就是一个平衡锤，在上下振动时平衡被破坏，使一对金属触点出现通断动作，由电子计数器记录通断次数并显示出来，就完成了计步功能。将接口电路送来的信号从振动传感器处引入（振动传感器被拆掉），对电能表主板输出的计量脉冲进行计数即可完成电能记录。

3. 接口电路

如果使用BL0932/BL0933或者GW0932等芯片且为1600imp/kWh的电能表主板，可以省掉接口电路，制作更简单，成本更低廉。本例采用就是BL0932芯片的1600imp/kWh的电能表主板。如果你只有3200imp/kWh或800imp/kWh的电能表主板，还需要做个简单的接口电路（见图2）。

接口电路需要完成信号处理、传输功能，还要进行电气隔离，保证计步器安全和人员安全。这是一个采用光电隔离输入、输出的电子分频电路，主要由光电耦合器和14级分频计数电路CD4040构成，耗电极低。这个分频器对输入信号进行32或8分频，这样，对应3200imp/kWh或800imp/kWh的电能表主板，接口电路都输出100imp/kWh的信号，即每输出一个脉冲，表示耗电0.01度，计步器显示数加1。

电能表主板光电耦合器输出的有功功率计算快速脉冲信号送入CD4040的信号输入脚10脚，从CD4040的第3脚Q5端输出32分频或第6脚Q3输出8分频后的信号，经过光电隔离后送给计步器。接口板5V电源取自电能表主板，即从图1中C、D两点取电。接口板输入信号取自电能表主板的光耦输出端，即图1中的3、4两点。

采用接口电路后，就不需要对电能表主板进行电气改动了。

制作方法

主要材料：1个从闲置电能表拆下的主板、1个跑步计步器、1个合适的排插以及导线若干（见图3）。

1. 电能表主板的改造

本例采用BL0932的1600imp/kWh的，因此省掉了接口电路，但需要将主板进行适当的物理尺寸加工和电气改动。

■ 物理尺寸加工。适当将主板锯掉一些以适合排插大小，如果选用的排插体积较大，可以省略此步骤。

■ 电气改动。将电能表主板上光电耦合器的两个输入脚和原电路断开（即图1电路中A、B两处在虚线处断开），再串接一个10Ω电阻R，用细导线和BL0932的第13脚和14脚相连。BL0932的第13、14脚是原电能表机械计度器的步进电机驱动输出脚，该脚的脉冲频率是第8脚电能计量快速脉冲输出脚的1/16，这样从第13和14脚取出信号刚好是100imp/kWh，从而省去了接口电路。需要说明的是，从电路上可以看出，将光电耦合器输入脚从电路上断开时，电能表主板的脉冲指示的红色发光二极管被断开，用导线将E、F两点相连，可以恢复其指示功能。将脉冲指示发光二极管拆下，安装在排插面板合适位置，用连线和主板连接。

2. 计步器的加工

拆开计步器外壳，把震动传感器去掉，并接出2根线。震动传感器的动触点和计步器电源纽扣电池正极是相连的，在此焊接一根线，和电能表主板上的光电耦合器的4端相连，另一根线焊在计步器的静触点上，这根线和计步器上的光电耦合器的3端相连。如图4所示。

3. 排插的加工

如果把计步器也放入插座，那么

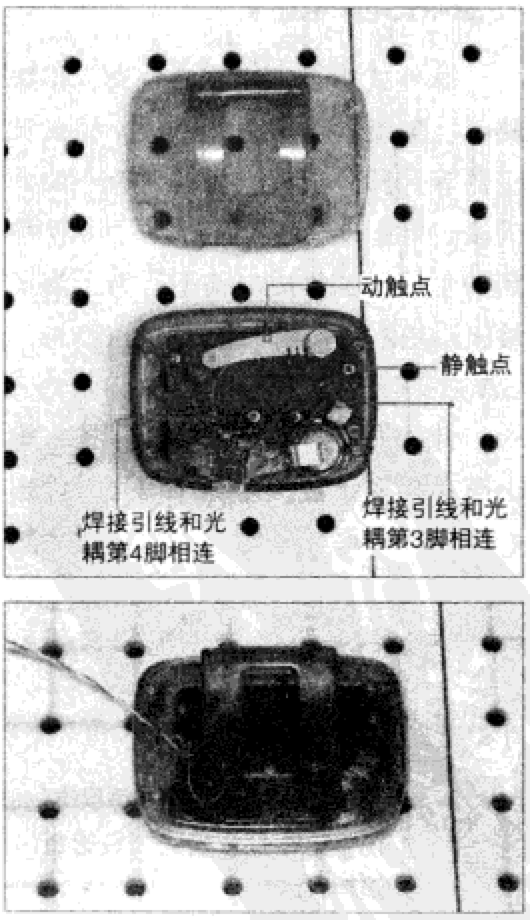


图4 计步器的加工图解

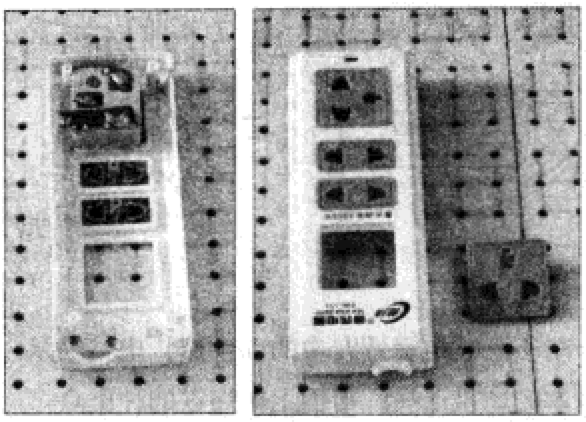


图5 排插的加工

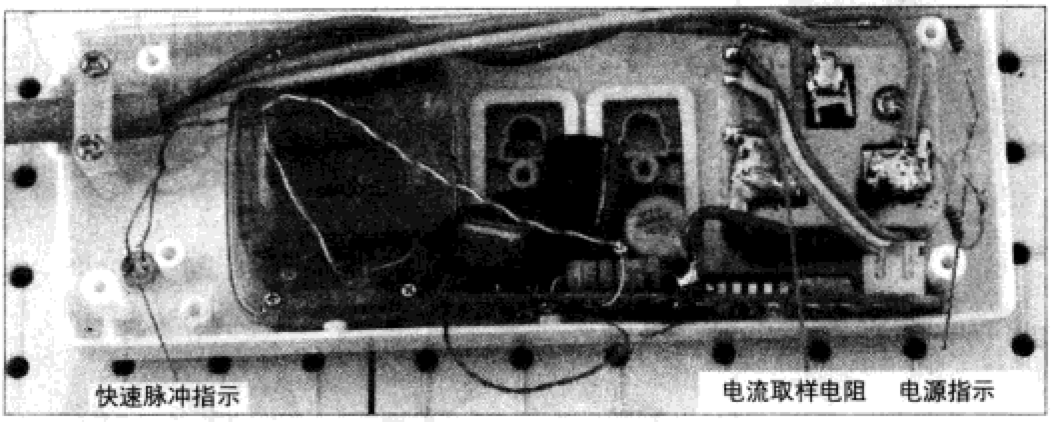


图6 接线图解

需要去掉多余的插座位，可以仅留一位（如果排插空间大，可以保留更多位），见图5。也可以把计步器放在插座外，在排插做上普通A型USB接口，在计步器上做上小的mini USB接口，或者在排插上做上3.5耳机插座，计步器上做上2.5耳机插座，利用USB-mini USB数据线或3.5-2.5插头的耳机线将排插和计步器相连，这样可以保留计步器的原有功能，继续使用计步器进行健身跑步计步。

把计步器和电能表主板放入排插中，计步器可以用AB胶与排插粘接，连好输入线和输出线即可（见图6）。如果焊接无误，一般不需调试即可工作。如果发现断电后第一次使用时，第一次计数在快速脉冲指示8次后计步器就加1，那么把电能表主板上的光耦1、2脚（见图7）和BL0932芯片的13、14脚之间的连线交换一下即可。图8为一款制作成功后的成品图。

本电能表复位后使用，消耗0.01度电后，接口电路输出的第一个脉冲到来，本电能表显示000.01，而家用电能表显示0000.1。显然，本表的显示精度（记录电能的精度）提高了10倍。以BL0932系列集成电路为核心的产品电子电能表精度可以优于1%，因此本制作将显示精度提高10倍是有依据的。仪表精度提高后必然会有一些新的用途。

这样，将廉价的跑步计步器和闲置电能表主板创新组合，就可以制成成

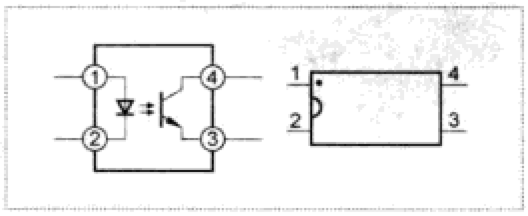


图7 光电耦合器原理图

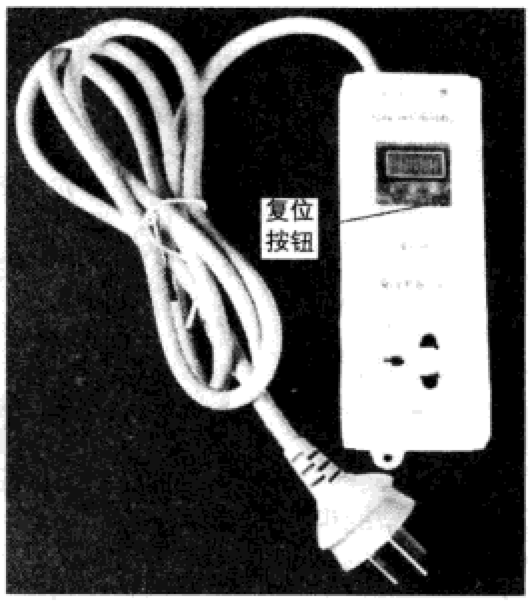


图8 最终成品

本低廉、且有不低于国家电力部门配发的家用电能表同样精度的可移动式电能表，使用放置都很方便。电能计量可以清零重新计量，也可以长期保存连续计量。本制作可以采用电能表芯片、计步器芯片和插座一体化设计，用来拓展插座的功能，有一定的开发价值。

应用

1. 作为临时拉电借电时电能计量

这时仅相当于一个普通电能表，优点是不需要接线，使用简单方便，谁都可以使用，就像使用插座一样。而常见的做法是接个临时电能表，这就要有一定电工技术的人来操作，甚至有私拉乱接之嫌。

2. 测量电器的待机功耗

把本表插头插在家中墙上的插座上，将待测量电器插头和本表连接，就可以方便的测量电器的待机功耗，可以长时间测量而不影响其他电器用电。而且，本表最小计量度数为0.01度，相比采用最小计量度数为0.1度的家庭电能表，测量时间可以变短，显然方便快捷。

3. 部分电器的耗电测量

比如测量电冰箱一天的耗电量，电脑使用一个小时的耗电量，洗衣机洗一次衣服的耗电量，壁挂空调一小时的耗电量等。

4. 业余校表

将本表校准后，可以用来校对其他电能表的准确性。比如，将本表插入家中的插座，关掉其他所有电器，在本表上接入一个功率较大些的负载，过一段时间后考察两个表的电能记录，就能对家中电表的准确度进行估量。这一点有一定的使用价值，那就是对市场上出售的非供电部门提供的电能表进行准确度筛选。同样方法，如果用一只准确的电能表也可以校准本表。校准本表后再用本表校准其他电能表。

电烙铁全解析

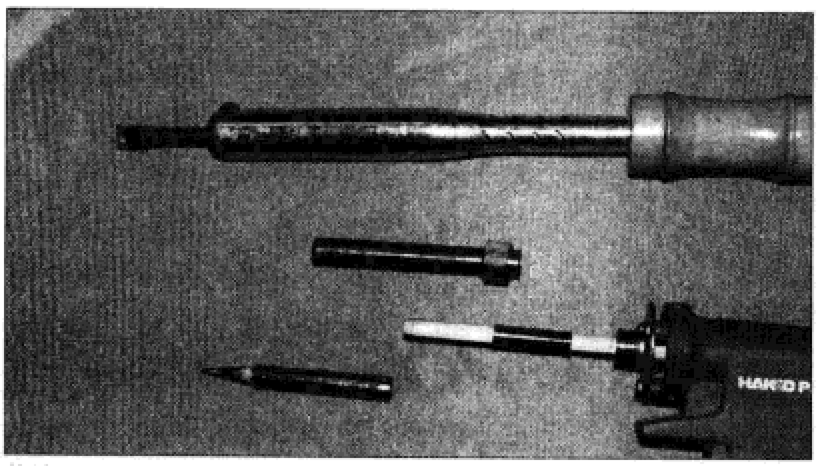
◎聆听

对于无线电爱好者中的动手派，电烙铁是最基本的焊接工具。市面上电烙铁的种类众多，价格也相差悬殊，便宜的烙铁只要几元一支，贵的烙铁要数千元，它们的性能差异在哪里？近年来，国际上兴起了无铅焊接，无铅焊接对烙铁和焊料有什么新要求，与传统的焊接有什么区别？本文将一一为大家解答。

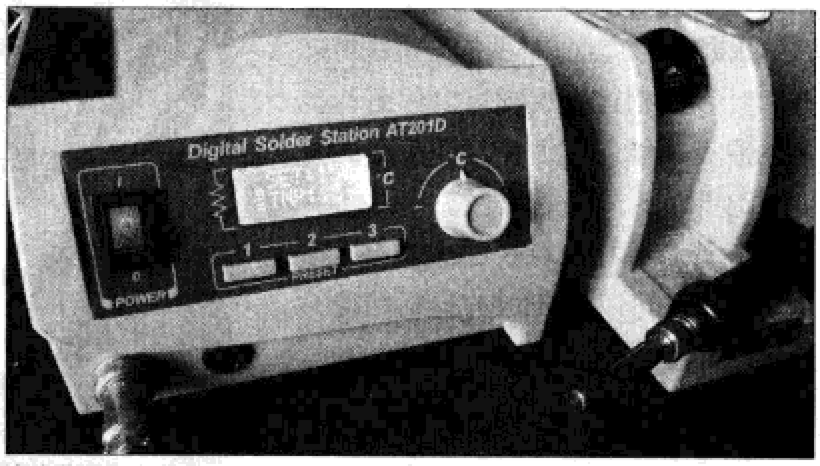
烙铁的基本原理

电烙铁属于电热工具，传统电烙铁通过发热部件将电能转换为热能，并将热能传导给烙铁，使得烙铁头温度升高，并达到融化焊点、上焊料（通常是锡合金）的水平。传统的电烙铁采用电热丝加热，比较高档一点的电烙铁，尤其是可控温的产品，采用PTC作为发热体，性能上会更好些。当烙铁头与焊点接触，烙铁上的热量就会传递到焊点上，烙铁由于热能的散失，温度开始跌落，此时需要发热单元及时补充热能，使烙铁温度回升。也有一些新型的电烙铁采用电磁涡流的原理为烙铁头加热，是一种比较新的发热结构。烙铁头温度回升的速度和温度控制精度是中高档烙铁性能的重要标志。

有些场合对焊接温度有一定要求，所以就出现了恒温烙铁、调温烙铁。由于某些需要焊接的部件对静电十分敏感，所以催生了具备防静电功能的烙铁。为了适应目前SMD元件



烙铁分解



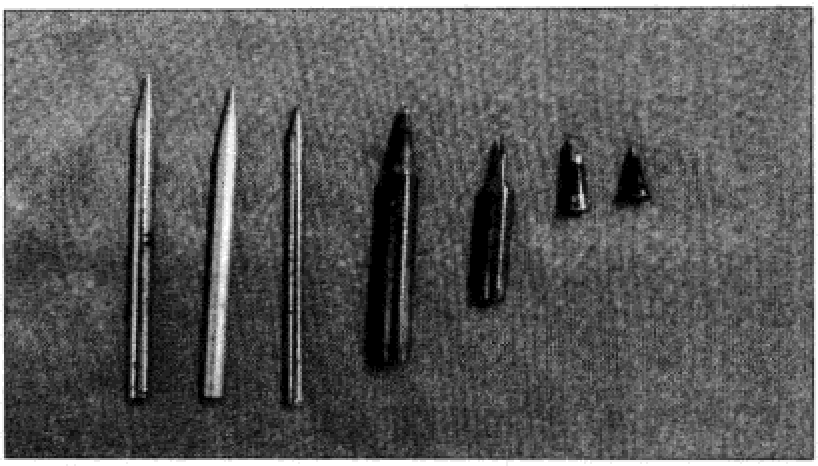
安泰信AT201D焊台

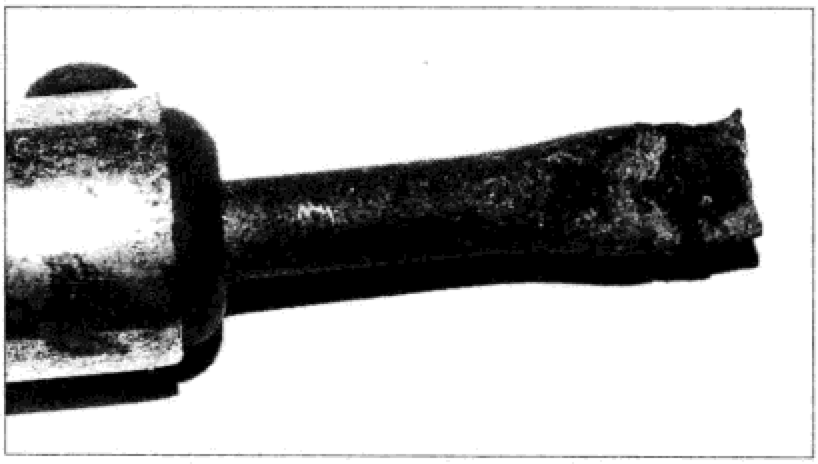
手工焊接的需要，有些烙铁采用低电压加热，并具备温度可设定功能，又出现了可调温焊台和电烙铁的衍生产品——电热镊子。电热镊子原理上是两把烙铁的组合，它可以同时在小型元器件两边接触加热，特别适合小型贴片电阻、电容和三极管的拆焊。

与普通一体化笔形烙铁相比，焊台采用了控制器主机和发热手柄分离的设计。供电控制主机有一个变压器（部分新产品开始使用开关电源），将220V市电转换为24V之类的低压电，并具备温度控制电路。在发热手柄中，除了传统烙铁的发热部件外，还多了一个温度反馈传感器，通过传感器配合主机控制器电路。当烙铁温度高于设定温度时，主机停止向发热手柄供电，使其暂停发热，利用烙铁的自然散热让温度自然下降，当烙铁温度低于设定温度时，主机开始向发热手柄供电，使其发热，直至焊台手柄温度达到设定水平，如此反复改变工作状态，保持烙铁手柄相对恒定地工作于预设温度水平。在此基础上，调温焊台还可以通过旋钮刻度或者

附加电路（LED 8字管或者LCD液晶显示）预设温度，甚至显示实时温度。通常，焊台的手柄是可以更换的，烙铁手柄的烙铁头也是可以更换的。这样可以满足多种用途，同时也将易损的烙铁手柄、烙铁头和复杂的控制器分开，降低使用成本。有些焊台还能连接电热镊子使用，对于取、焊贴片元件特别方便。

电烙铁有个重要的指标是“功率”，这是指烙铁升温工作时消耗的电力，常见的小型烙铁的功率范围为20~80W。高功率的烙铁具有升温快、回温快的特点，但通常低档高功率烙铁的体积比较大，配用的烙铁头也比较大，只适合焊接大面积的焊点，小体积的烙铁搭配大功率发热体，如果没有温度控制电路，温度很容易过高。小功率的烙铁体积小，适合焊接一些线路板上的小焊点。通常，完成一个焊点比较理想的时间在4s左右。当小功率的烙铁遇到大面积的焊点时，会发生发热元件不能及时使烙铁头回温的情况，导致无法迅速有效地融化大焊点，同时小接触面的烙铁头不能及时将热量传递给大面积焊点，不能使焊点全面达到可焊接温度，延长了焊接时间，降低了焊接质量。所以，选择烙铁的功率要依据焊点情况以及焊料的特性来确定。


各种烙铁头


严重腐蚀的烙铁头

电烙铁关键部件

电烙铁最关键的3个部分依次是烙铁头、发热部件和手柄材料。

烙铁头是一把烙铁上关系到热传导性能的最重要的部件，它是负责将烙铁发热部件的热能传递到焊点上的金属部件，属于最易损的部件。

根据烙铁头与发热体结合的方式，烙铁分为内热式和外热式。对于小型烙铁来说，内热式结构的热效率会更高一些。烙铁头在高温下很容易氧化，同时焊料和助焊剂也对烙铁头有很强的腐蚀作用。在工业生产线上，烙铁头消耗比较快，普通烙铁头连续使用寿命在 50~120 小时，一般在生产流水线上使用一周左右就需要更换。家庭业余使用的烙铁，由于每次使用时间非常短，所以烙铁头看起来是很“长寿”，一般几年都不需要更换。

理想的烙铁头是具备高导热效率，并且自身具备高防腐蚀和高温下低氧化的特性，但实际中，这些要求很难兼顾，有的中高档产品为了提高热传导，甚至采用银质接触点。早期的烙铁头采用紫铜作为材料，优点是导热性能优良，缺点是腐蚀和氧化严重，常需要用锉刀、砂轮去除烙铁头表面的氧化层，否则烙铁头就不能有效上锡。

现在的烙铁头多采用铜、铁、镍、铬、锡复合材料，高档的烙铁头多采用导热性极佳的紫铜作为主要核心，外镀铁和铬。铁起到抗腐蚀作用，同时也有很好的粘锡效果，在镀铁层中加入镍可以有效起到防锈的作用，铬不宜粘锡，可以有效控制烙铁头的粘锡区域，锡在烙铁头部与铁结合。过去烙铁头含铅，有一定的抗腐蚀效果，不过随着无铅焊接技术的普及，不能再使用铅作为原料。烙铁头的原理虽然并不复杂，但制造起来需要相当高的工艺和技术，包括成本控制。紫铜导热性能好，但价格贵，有的厂家采用黄铜就能降低成本，但导热性就略有影响。对于制造廉价产品和仿冒产品的厂家，索性用铁芯代替铜芯，在价格和工艺上都能大大节省，当然性能也会大打折扣。即便是真材实料制造，工艺技术水平也很有讲究，就拿镀铁工艺来说吧，铁镀厚了，抗腐蚀性好了，但热传导就差了，铁镀薄了，热传导性好了，但抗腐蚀能力又差了，同时镀铁层的晶体结构也与烙铁的性能息息相关。

了解了这些，我们就很容易理解一些高档焊台、原装烙铁头价格昂贵的原因。此外，烙铁头与发热体的紧密接触也很重要，紧密接触可以有效降低热阻，这也是散热片常涂导热硅脂的主要原因。对烙铁头来说，要做到与发热体紧密接触，就对金工加工提出很高的要求，而且由于温度很高，基本不用任何填充剂。使用镀层技术的烙铁头是不允许打磨的，否则镀层一旦破坏，烙铁头就很容易损坏。国产的一些仿制名牌的烙铁头，为了降低成本采用铁作为主要材料，

高品质白光发热芯

铁的热传导特性与铜相比还是有一定差距的。同时，由于镀层技术不过关，导致烙铁头容易被烧死（氧化），再加上金工加工精度不够，使烙铁头与发热体间空隙增加，也减弱了热传递性，导致整体焊接性能和烙铁头寿命的下降。导热性差的烙铁头往往需要通过焊台来设定更高的温度，因为大多数焊台的温度传感器都位于发热体附近，接近烙铁头，技术和成本上都决定不可能直接进入烙铁头测温，所以所测得的温度与烙铁头实际温度存在一定差异，对于导热性差的烙铁头，这种差异会更大。这也是同样功率的焊台，有的设定在350℃已经能很好地焊接，有的要设定到近400℃才用起来顺手。对于焊台来说，有时为了提高不同焊点的焊接品质和方便程度，往往需要使用多种不同类型的烙铁头。原则上，烙铁头的接触面应尽量接近焊点面积，能用凿型（也称马蹄形）烙铁头，尽量不用圆型（包括尖头）烙铁头，因为前者接触面更大，热传导性能更好。对于焊接细密引脚的集成电路，可以准备一个刀型烙铁头，这样拖焊会很容易。

发热部件是电烙铁热量产生的源泉，是关系到烙铁寿命的重要部件。常见的发热部件有电热丝和PTC发热陶瓷。优质的发热部件具有较高的发热效率，可以长时间连续工作。

另外，手柄材料和外型设计关系到烙铁使用的舒适程度。手柄材料直接决定手柄的隔热性能，并与产品的轻巧和使用寿命密切相关。

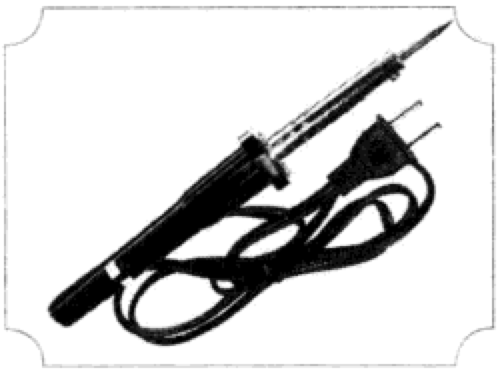
常见烙铁的档次分类

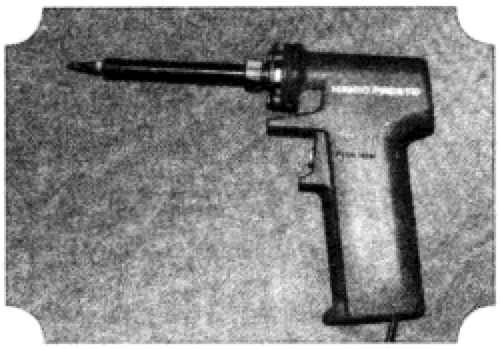
最基本的烙铁是笔形电热烙铁，它不具备恒温装置，是结构最简单、价格最便宜的烙铁产品。

这类产品依据烙铁头的性能和发热体的功率、类型以及烙铁手柄的材料来划分不同价格档次。

还有一种是双功率烙铁，它通过一个按钮使烙铁在短时期内可工作在很高的功率状态，以便快速升温，这在焊接一些大面积焊点时特别有用。同时，这样的双功率设计可以让烙铁的体积不至于太大。典型的是白光981型烙铁，外型与普通20W烙铁相当，但具备20W/130W两挡功率。使用高功率挡，在焊接电缆和大焊点时，比笨重的100W传统烙铁都好用。普通的小焊点焊接，20W挡就足够了。普通电烙铁在技术上，国内的厂家已经做得相当好了，但在双功率烙铁方面，进口产品的高功率挡还是有相当优势的。

较高档的是恒温烙铁，外观还是笔形结构，内部增加了温度控制电路，可以使烙铁基本恒定在固定温度上，属于实用性比较强的烙铁，有的恒温烙铁还提供几挡温度可供调节，这类的国产烙铁在电子控制部分的技术已经非常成熟。


最基本的笔形烙铁


白光HAKKO 981型双功率烙铁

Weller WD1M焊台

再高档一些的是调温焊台。通过焊台控制器，可以为烙铁提供 50~450℃温度设定，通常都具备防静电设计。烙铁头都是可换的，对不同应用，可选用不同型号的烙铁头。基础型的调温焊台采用旋钮刻度来指示设定温度，典型产品是白光 936 焊台。数显型的焊台设定温度更为直观和精确，典型产品是白光 937A 焊台和 WELLER WSD81（新款的 WD1M）焊台。

更高档的还有氮气焊台/烙铁。顾名思义，该类型烙铁增加了氮气输出功能，氮气可以有效减少氧化，增加润湿性和扩散性，同时预热氮气输出可以对焊点有预热的效果，减小烙铁温度的跌落和回温的时间。这种类型的典型产品是白光957烙铁。

通常高档高性能的烙铁要求温度可以自由设定，烙铁头温度设定误差小、稳定性好，烙铁回温速度快（通常也同步表现为开机温升速度快，标称功率大都在60W以上），烙铁头和发热体稳定耐用。对于焊台来说如果提供自动闲置状态待机和自动关机功能对延长烙铁的寿命有很大的帮助。市场上我们可以常见众多标称为“无铅焊台”的产品，无铅焊台与普通焊台内部结构基本相同，通常功率相对比较大，回温更为迅速，适合使用无铅焊料进行焊接。因为无铅焊料的焊接温度通常要比传统的锡铅焊料高，所以要求电烙铁的工作温度更高一些。

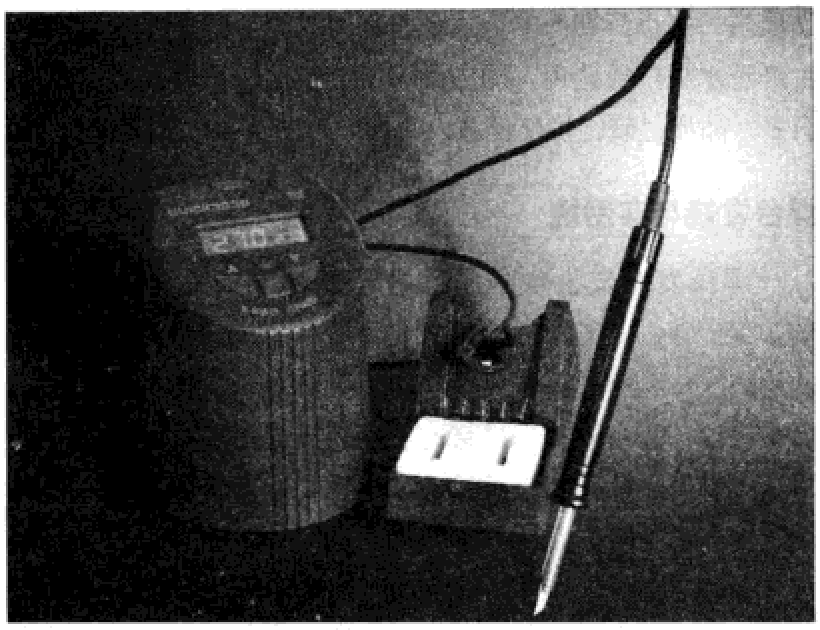
常见的烙铁品牌

JBC（西班牙）、OK（美国METCAL）、ERSA埃莎（德国）都提供世界顶级焊接工具，产品性能世界领先，无论是使用还是观赏，都能满足发烧友的需求。

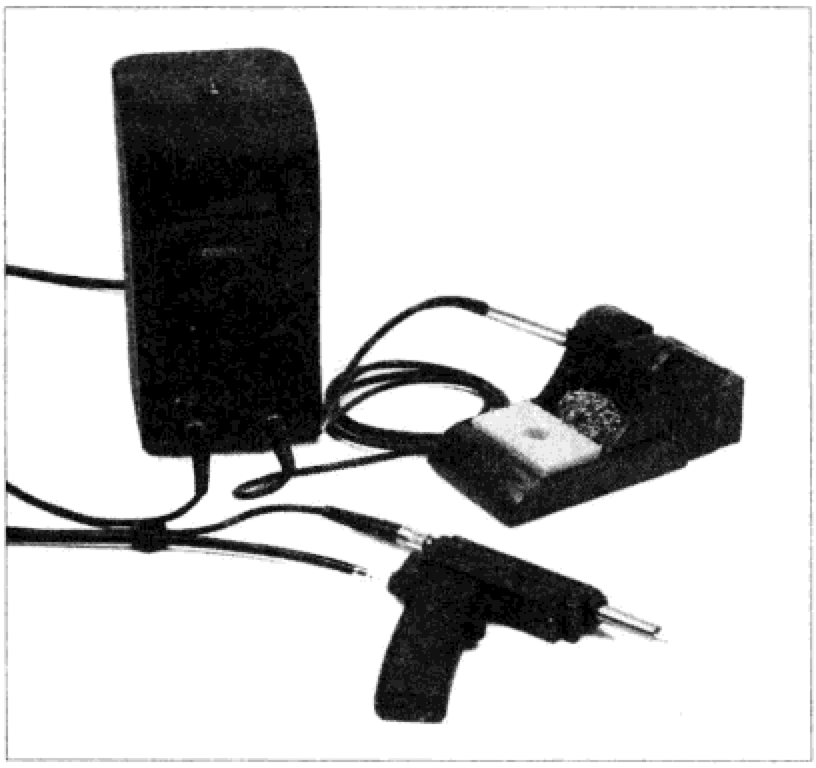
在中高档产品中,日本的HAKKO（白光）和德国的Weller（威乐）在国内有很高的知名度。白光系列产品是较早进入中国市场的产品，使国人领略到高品质焊接工具的魅力，同时白光产品提供了国人尚能接受的价格,广为各专业用户使用，在国内几乎获得了第一焊接工具品牌的地位，其936焊台几乎成为国内调温焊台的代名词。Weller系列焊台让大家感受到德国产品的高品质，其国内主力销售的WSD81数显焊台，其发热体与烙铁头的接触点采用了贵金属银质材料，并支持无铅焊接规范。

很多国际大公司的维修和研发部门都选择Weller品牌的工具。日本Goot的笔形烙铁作为进口品牌在国内也有一定的知名度。

国内品牌的焊台和热风枪中，快克和安泰信具有很高的知名度和口碑。它们以平易近人的价格提供接近进口品牌工具的性能，以及更低的使用成本。同时它们的产品已经从借鉴走向创新。作为国内名牌产品，适当的价格和稳定优秀的



快克（QUICK）303B智能无铅焊台



OK公司METCAL MX5051顶级焊台

国内应用较多的高档Weller WSD 81焊台

品质与一些小厂奉行的低质低价形成了鲜明的对比，被很多生产流水线广泛选用。国内品牌的笔形烙铁，属黄花高洁最有名，品质过硬，价格低廉。

焊台发烧与实用性

焊台发烧友喜欢极品焊台，不计价格的话，JBC、METCAL OK、ERSA、Weller都是不错的选择。作为非工业级的用户，一套高品质的烙铁焊台将会有很长的寿命。对于发烧友来说，焊台欣赏的机会比使用的机会更多，所以，上述国际大牌产品的独特外观设计，也正好迎合这种需要，区别于工具市场随处可见的那种“大路货”。

目前，由于大多数烙铁和焊台的控制电子线路已经非常成熟和普及，所以国内很多厂家都能轻易制造（实际上电子线路并不复杂），但是能够生产高品质烙铁头和发热芯的厂家并不多，所以有些厂家就采用“自制控制电路+进口发热芯+进口烙铁头”的搭配来提高产品性价比。如果预算有限，国产名牌烙铁是不错的选择，很多焊台都与白光配件兼容，用户可以自行按需升级，使用进口高品质烙铁头和发热芯。高品质烙铁头配合焊台在正常情况下不容易“烧死”，即便变黑，在沾水清洁海绵上蹭几下，就能回复银色光泽。即使长时间使用出现性能下降，只要利用助焊剂稍作保养，就能恢复如初，这都是一些仅外观相同的廉价仿制品所无法比拟的。

这里，笔者友情提醒一下，市场上仿制和所谓OEM的白光系列烙铁头很多，很多产品照样有刻字、有独立外包装，但性能却完全不同。

适合自己的才是最好的——选对烙铁

对于初级电子爱好者，电烙铁只是作为一件有备无患的工具，偶尔用来更换几个小元件，那么普通二三十元、功率在25~35W的优质笔形烙铁就完全够用了。由于是短时间偶尔用一下，所以什么恒温、数显温度都不重要。

对于比较喜欢动手制作电路板和维修小电器，也有自己的一方电子工作台的电子爱好者，建议要配备一把称手的焊接工具。由于目前国产的基本型恒温焊台的价格已经不贵，所以花费百元左右，买台国产的优质936类型的焊台物有所值。这类焊台，既可以调节设定温度，又有多种形式供选择，适合不同大小的焊点，小到手机维修大到电视机等大件电器的线路板维修，它都行。如果要档次高、外观漂亮点的，可以考虑数显温度的焊台。不过，焊台最大的不便在于焊台体积大、重量重、携带不便，所以需要外出现场维修的场合，准备一支笔形烙铁还是少不了。

对于需要焊接较大焊点的专业用户，如焊接电缆接头、屏蔽罩、粗电源线等，那就需要大功率、大体积的烙铁。如果你要大功率、小体积，那么前面介绍的白光981双功率烙铁值得推荐。

对于经常需要焊贴片元器件的准专业级电子爱好者，焊台是推荐的基本工具。如果配上电热镊子，你会觉得，原来拆焊贴片电阻、电容、三极管是那么容易。更高级一点的可以考虑热风焊台（也被称为热风枪）。

对于工具器材发烧的爱好者，电烙铁的实用性已经不是主要的，品牌和外形更是关注的重点。前面提到的JBC、METCAL OK、ERSA、Weller都是国际级品牌，外形也绝对独到而不落俗套，这些四位数价格的电烙铁，大多数产品的外形都能给人眼前一亮的感觉，彰显档次。

对于流水线上使用的专业用户，焊台是目前主流的焊接工具，使用维修成本会比同级别的笔形烙铁低。由于流水线上连续工作时间长，所以烙铁损耗也远远超过家庭业余用户，因此在选择品牌和供货商时，要格外注重售后服务好、易损部件通用性强、保修时间长、经久耐用的产品。

话说无铅焊接与焊料

无铅焊接是焊接业界的新热点，过去的焊料主要是锡和铅的合金，经过多年使用其性能受到大家广泛的肯定。不过金属铅会造成环境污染，所以从保护环境出发，电子行业里开始要求改进传统焊料，不再使用金属铅（在性能上锡铅焊

禁铅标示

3种不同的焊料

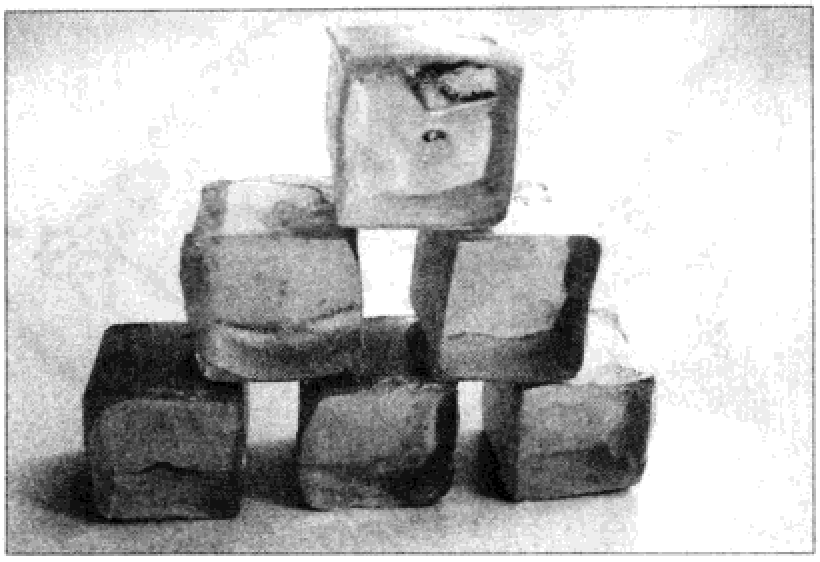
料并不是不好）。在欧美一些地区，这已经成为电子产品准入机制的一条基本标准。由此，从焊接工具烙铁到焊料都有了新的要求和改变。

由于焊料中不再允许有铅，焊料的成分随之改变，但目前尚不能找到价格适中且性能与传统锡铅焊料相当的焊料，所以只能用性能接近的焊料替代。无铅焊料的配比已成为一个新的技术热点，目前用得比较多的是锡银铜焊料和锡铜焊料，但这些焊料要求焊接的温度更高，如传统常用的锡铅焊接的熔点为183℃，而锡银铜焊料为217℃、锡铜焊料为227℃。这就要求焊接工具提供更高的温度和更快的回温速度。所谓无铅焊接焊台，实际上就是通过提升烙铁的功率，达到更快的回温时间，以适应高温焊料的需求。

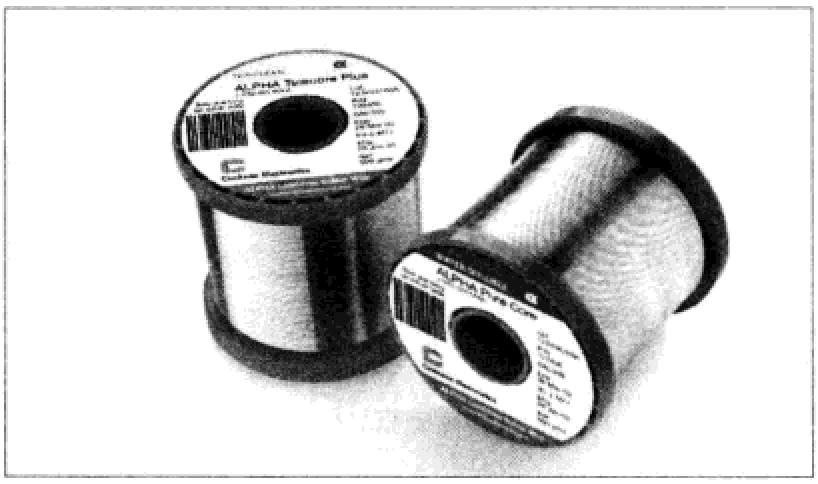
一般手工焊接焊锡丝用得最多，助焊剂常用的有松香、焊锡膏之类。焊锡丝是将锡合金焊料做成线条状，方便取用，焊锡丝根据应用的需要，制成不同粗细的产品。对于一些空间狭小的微小焊点，就需要使用直径很细的焊锡丝。工业上，焊锡丝都是按照重量出售的，对于电子爱好者，可能一下子用不了以公斤为单位的焊锡丝，所以在一些电子市场也有按焊锡丝长度卖的少量零售产品。这时，同样长度的焊锡丝，由于直径不同，重量就会有所不同，价格也不一样。目前主流的焊锡丝内芯都含有活性助焊剂，可以帮助焊接，提高焊接质量。外形类似的焊锡丝，其锡合金所含成分可能不一样，一般在产品标牌上会有注明，或者按照产品型号可以查询资料。不同成分的焊料在熔点上和一些特性上不一样，不过对于手工焊接，几乎没有差别，所以很多电子爱好者并不关心焊料的成份，只要是焊锡丝拿来基本都能用。对于一些工厂的自动回流焊、波峰焊，对焊料成分的配比就有很高的要求，直接关系到自动焊的品质和可靠性以及成功率。传统的助焊剂是松香，焊锡膏具有更强的助焊特性，对付焊接表面存在轻微氧化层的情况特别有效。不过，大部分焊锡膏存在一定的腐蚀性，焊接之后如果残留在线路板上，容易引起慢性腐蚀，所以使用焊锡膏后需要对焊点周围进行清洁，这也就是很多老手宁愿选用松香作为助焊剂，也不用焊锡膏的原因。

国内使用较多、名气较大的焊料品牌有德国WBT、美国阿尔法ALPHA、美国KESTER、日本千住Senju、日本山崎SANKI。需要注意的是，名牌的焊料都有不同的型号/标号，标志着锡合金配比成分的不同，同时很多焊丝还有质保期。此外，有些国际名品牌的焊料部分已经在中国生产，产品上会有产地说明。

对于追求焊料成分（如高含银量）的发烧友，选择焊料除了认准品牌，还要选对标号。含银焊料是很多发烧友所追捧的，尤其是音响发烧友。在锡铅焊料的时代，



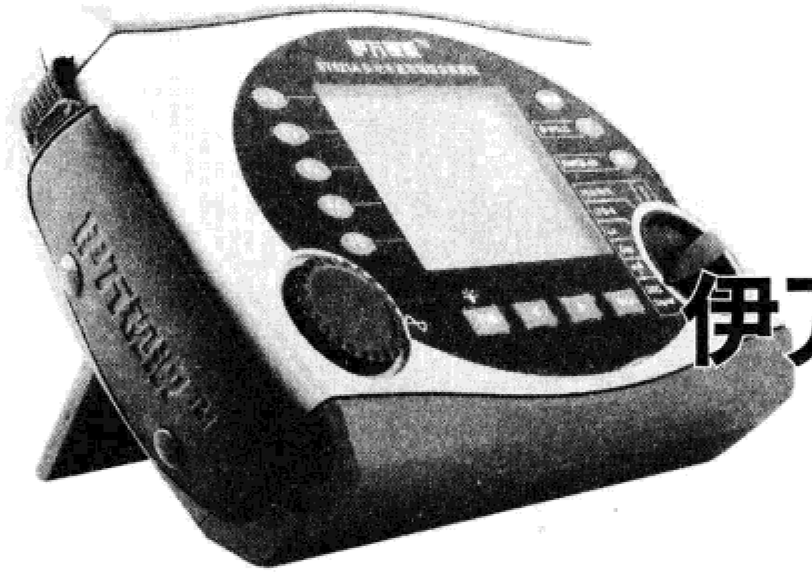
松香



ALPHA焊料

Kester焊料

含银焊料属于发烧级的产品被炒成高价，多用于音响发烧场合。但在无铅焊料的时代，含银的无铅焊料已成为广泛应用的高级标准焊料，常用的千住M705焊料就是Sn-3%Ag-0.5%Cu 和M30焊料Sn-3.5%Ag，以及M20焊料Sn-0.75Cu。对于焊料特性来说，并不是含银量越高越好，银在焊料中的作用主要是调节焊料的熔点和润湿特性，在某些领域焊料含银比例被神化了。



◎魏坤

实测伊万多功能示波检测仪ET521（续）

笔者曾测试了ET521多功能示波检测仪的示波功能，最近又对频率计功能以及电容电感测试功能这几个功能作了比较详细的使用和测试，图1是这次测试所使用的仪器，实测情况介绍如下。

一、频率计功能

ET521拥有60MHz的频率测量功能，但显示位数只有4位(图2)，即对于10MHz以上的频率只能精确到10kHz，1MHz以上10MHz以下的信号只能精确到1kHz，所以精度并不是我这次测试的主要目的。用过频率计的人都知道有时在测量幅度较小的信号时，频率计没有反应，这就是频率计的灵敏度低造成的，故这次测试的主要目的是测试ET521在不同频率下的测试灵敏度，结果如表1所示。

表1 频率计灵敏度实测数据（信号源：Agilent 33250A）

频率	方波（Vpp）	正弦波（rms）
100Hz	100mVpp	260mVpp
500Hz	100mVpp	270mVpp
1kHz	100mVpp	200mVpp
5kHz	90mVpp	160mVpp
10kHz	90mVpp	170mVpp
50kHz	90mVpp	160mVpp
100kHz	100mVpp	160mVpp
500kHz	90mVpp	170mVpp
1MHz	100mVpp	160mVpp
2MHz	100mVpp	170mVpp
5MHz	110mVpp	180mVpp
10MHz	140mVpp	190mVpp
20MHz	480mVpp	570mVpp
30MHz	870mVpp	1.18Vpp
40MHz	1.39Vpp	1.61Vpp
50MHz	2.00Vpp	2.11Vpp
60MHz	3.41Vpp	4.35Vpp

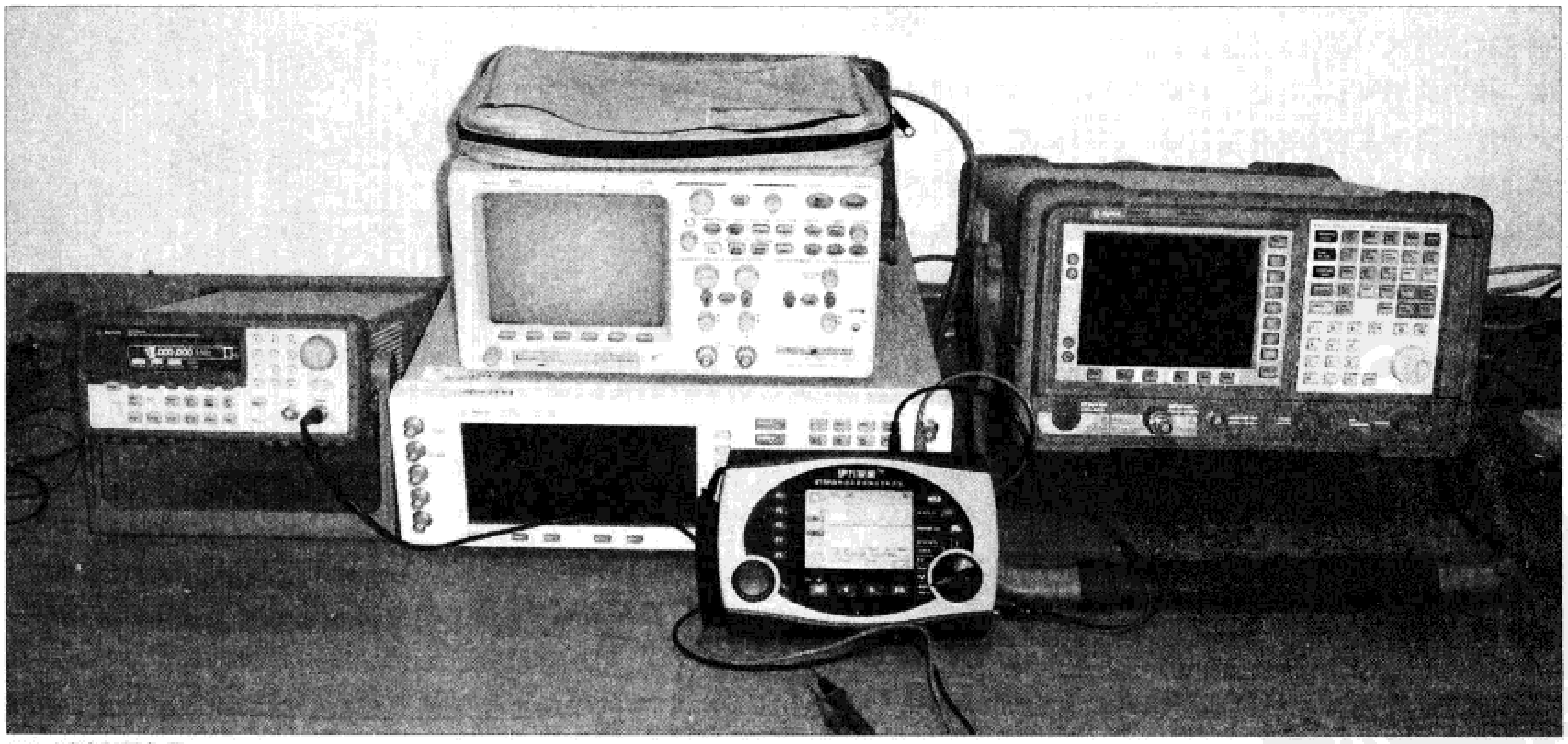


图1 测试所用仪器

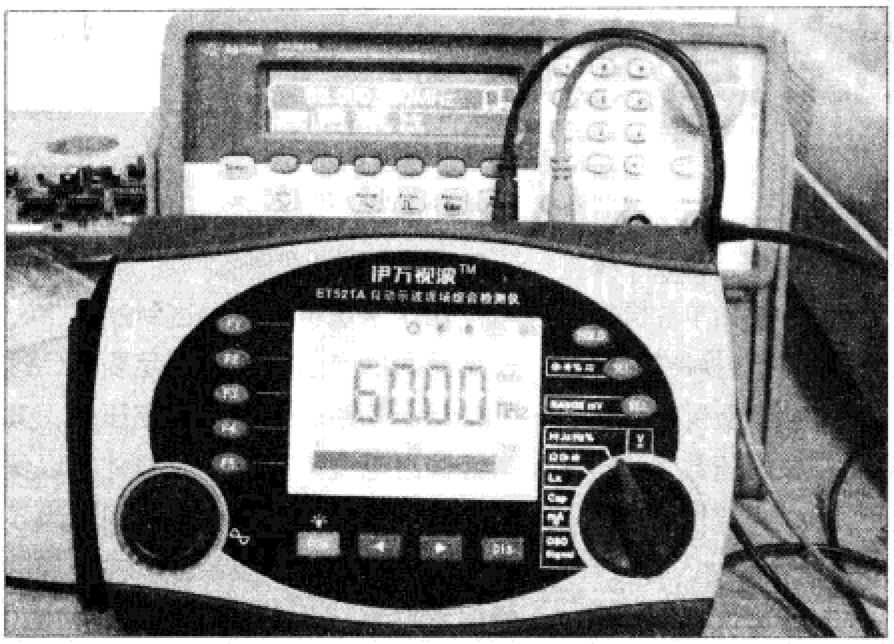


图2 频率计功能测试

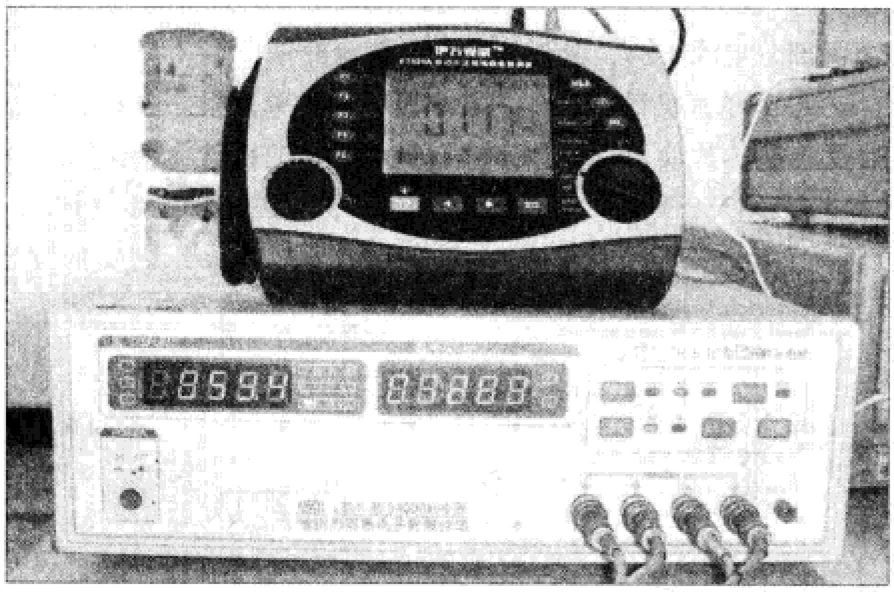


图3 测试电容电感

图4 用ET521测试5.000V的电压基准（LM399）

表2 电容测试数据（电桥：TH2811C）

电容标称值	TH2811C测量值	ET521测量值
102 (1 nF)	995.4pF	1.102nF
472 (4.7nF)	4.64nF	4.82nF
103 (10nF)	10.12nF	10.87nF
683 (68nF)	68.23nF	70.54nF
104 (100nF)	98.75nF	104.5nF
1 μF	1.13 μF	1.21 μF
4.7 μF	4.65 μF	4.73 μF
10 μF	9.89 μF	10.43 μF
47 μF	45.3 μF	44.6 μF
100 μF	105.4 μF	113 μF
470 μF	458.5 μF	483 μF
1000 μF	987.2 μF	967 μF
2200 μF	2256.6 μF	2088 μF
4700 μF	4573.7 μF	4324 μF
6800 μF	6632.3 μF	6405 μF

建议：

测试1kHz以下频率时方波幅度不要低于100mVpp，正弦波不要低于300mVpp。

测试1kHz~1MHz频率时方波幅度不要低于100mVpp，正弦波不要低于200mVpp。

测试1MHz~10MHz频率时方波幅度不要低于150mVpp，正弦波不要低于200mVpp。

测试高于10MHz的信号时幅度要求更高。

二、电容测量功能

电容是电路中常用的元件，对它们的准确测量也是很重要的，所以我用同惠TH2811C型LCR数字电桥作为参考仪器，测试一下ET521测量电容的准确度（图3）。

由表2数据可知，测量较小容量电容时，ET521的读数较TH2811C的大，但测量较大容量电容时，ET521的读数又较TH2811C的读数小，TH2811C的精度可以达到0.1pF，所以TH2811C的测试应该是准确可靠的，由此可见ET521的电容测试的误差还是比较大的，但对一般电路的定性分析来说还是足够了。

我试用ET521的总体感觉还是不错的，由于没有精密的电压源及精密电阻，所以电压、电流、电阻这些功能只是和普通的数字万用表（胜利VC97）做了对比，测试结果基本相同。图4给出了一幅使用ET521测试我用LM399制作的5.000V的电压源，显示电压是5.001V。我个人认为像这样的功能较多的复合型测试仪器，精度不是最重要的（如果能有更高的精度当然最好，只是成本估计会很高），主要是使用的方便性，所以ET521的表现还是比较令人满意的。

打造一款高精度数控恒流源

◎周琳凯

恒流源广泛应用于计量领域、半导体器件性能测试、传感器等场合。本文介绍的高精度数控直流恒流源实现了电流在0～2000mA范围内以步进为1mA或10mA的高精度变化，得到在0～2A内的某一值的稳定电流，可预置数、LED显示。

总体设计

可由proteus绘制电路的硬件原理图，软件的编程则可通过keil环境来调试，之后可将proteus与keil进行联合仿真，以达到对设计的精确误差分析并提出可靠可行的解决方案。

此设计的主体思想是通过接单片机的键盘设定输入或预制值，在数字域由单片机进行运算处理，再由单片机将此数字量输出到12位D/A转换器转换，使其输出模拟量，将此模拟量反馈到核心恒流源模块电路，实现快速数字闭环反馈控制，以得到恒定的电流输出。系统总的结构框图如图1所示。

系统硬件

1. 电源部分

整个系统需要两部分电源±5V、+21V。±5V供给AT89S51单片机最小系统和AD7521数摸转换芯片使用，+21V供给调整管和运放LM358使用，±5V电源原理图见图2。

由于系统电流要求达到2A以上，使用普通的变压器不能满足要求，这里使用了功率较大的环形变压器，其最大输出电流可达3A，这样才可以保证足够的大电流后级输出。同时为了抑制后级电路的纹波系数，在电源的输出端并联了大的电容。电路如图3所示。

2. 键盘及控制部分

（1）键盘部分

本设计采用单片机外中断的方法来控制键盘数据的输入，可实现的功能有步进1±、步进10±、步进100±

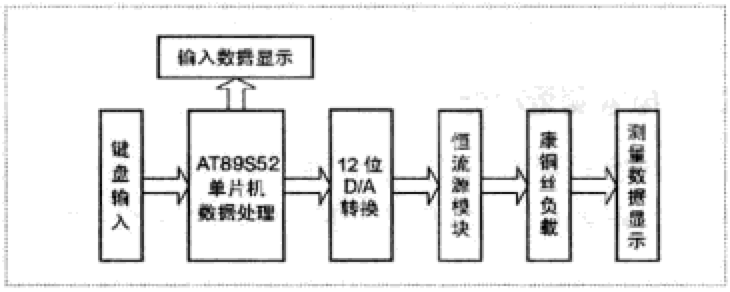


图1 系统总结构框图

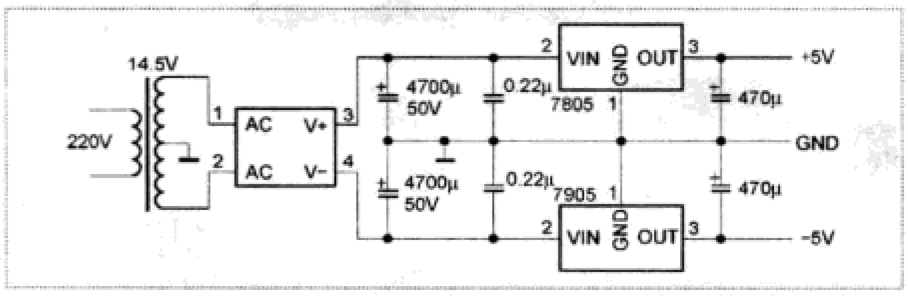


图2 ±5V电源原理图

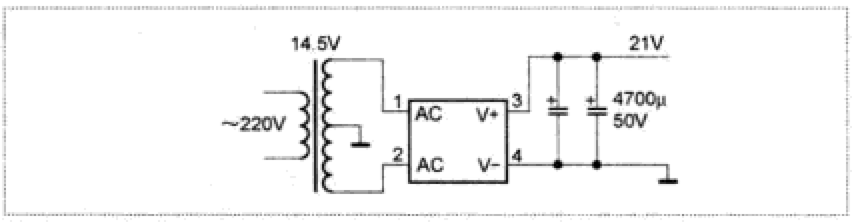


图3 +21V电源原理图

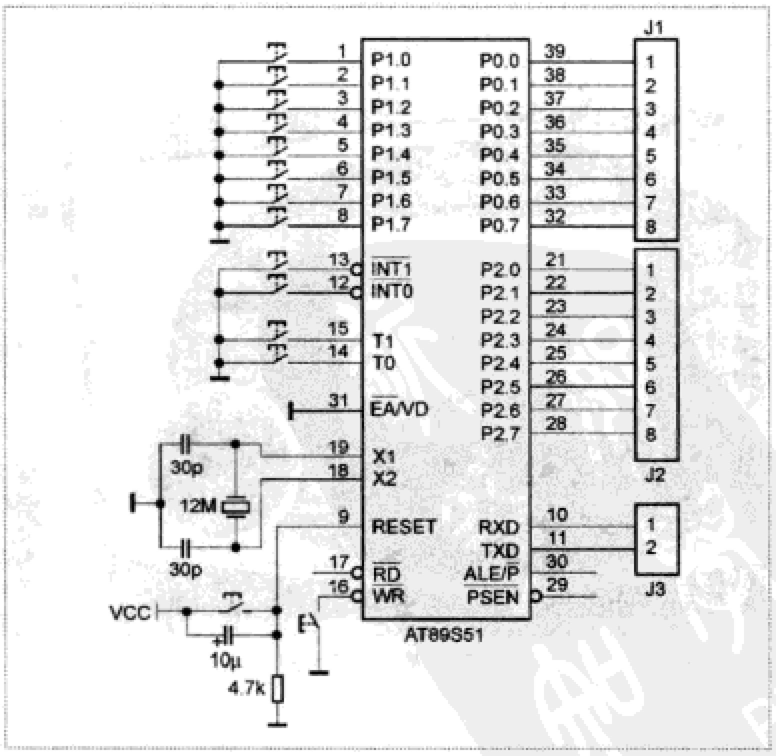


图4 键盘及控制电路部分

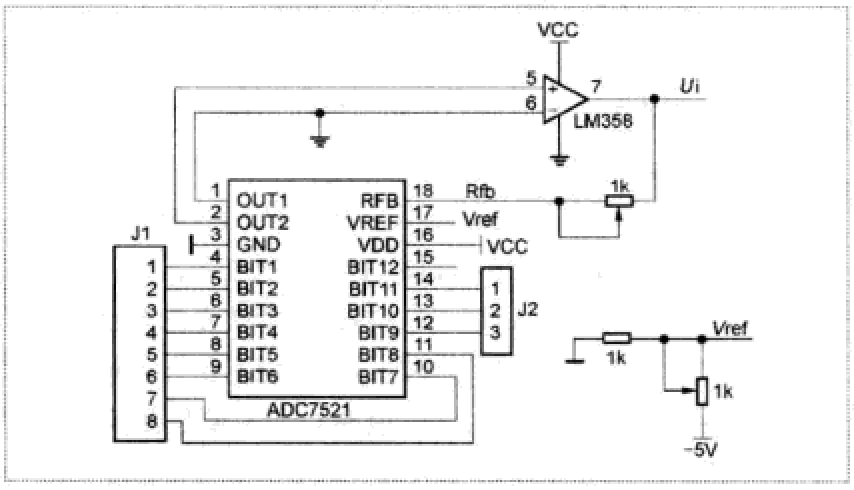


图5 数模转换部分

以及直接进行3位半数据的输入。当键盘上没有按键闭合时，键盘处于扫描状态。

（2）单片机控制部分

单片机最小系统电路见图4，主要用来控制键盘的输入和显示，将输入的数据转换为二进制数据送到D/A转换器以及对数码管显示数字的运算处理。其中P1口主要用来控制按键的输入，P0、P2口主要输出数据给D/A转换器，转换成模拟量输出，单片机的串口则用来接显示电路，由单片机将得到的结果进行运算处理之后通过串口显示在数码管上。

3. D/A转换部分

此部分模块电路见图5，主要功能是将数字信号转换为模拟信号，以反馈给后级的恒流源电路，形成数字闭环反馈。由于设计需要输出电流达到2000mA，所以D/A转换至少是12位的转换芯片，在此选用12位高性能低功耗数模转换芯片AD7521，由于其低功耗（最大20mW）、工作电压范围宽（±5～±15V）、转换精度高、TTL与CMOS兼容、全输入静态保护、极低的非线性温度失真等特点，被广泛应用于各种要求高精度数模转换的场合。

AD7521 的 BIT1 ～ BIT12 为数字输入量，R_{FB} 为模拟量输出，V_{REF} 为参考电压。

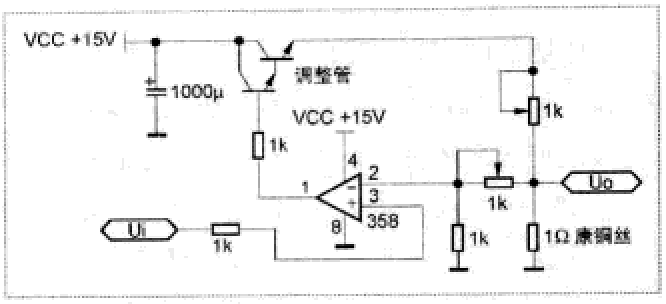


图6 恒流源模块

数模转换公式：

$$V_o = -\frac{Vref}{2^{12}}(D)_{12} = \frac{Vref}{2^{12}}(d_{11}2^{11} + d_{10}2^{10} + \cdots + d_1 2^1 + d_0 2^0)$$

此部分电路如图5所示。

4. 恒流源部分

电路如图6所示，此部分为此系统的核心控制部分。恒流源电路由运放LM358构成的锁相环电路、DA转换器基准电压调整部分、调整管TIP122和检测电阻等几部分组成。由于设计的高精度及2000mA的最大电流值的要求，这里选用了高共模抑制比低温漂的运算放大器LM358以及集电极可流过最大电流为8A、放大倍数为1000～15000范围的75W大功率达林顿管TIP122构成了恒流源的主体。由于设计要求的大电流，为确保达林顿管安全工作，需要在达林顿管上安装散热性能良好的散热片，这同时也提高了整个系统的可靠性。具体工作原理如下：当恒流源工作时，电流检测电阻Rs上的压降与基准电压相等，基准电压加到放大器的同相端，产生钳位电压从而控制调整管TIP122是否导通，运放LM358构成锁相环电路，使得调整管导通时，检测电阻上可以获得恒定的与D/A转换器输出相等的电流，从而达到恒流的目的。电路中

电流的稳定度对输入电压的变化非常明显。末端测试电阻选择材质为康铜的电阻丝，康铜电阻具有功率大，受热情况下其阻值基本保持不变的特点，所以采用测量1Ω康铜丝两端的电压来表示电流值。设计要求恒流源的电流在负载变化时保持不变。

5. 显示部分

在单片机的应用系统中，显示器的显示主要有两种方式：一种是静态显示，一种是动态显示。为节省单片机I/O口资源以及提高CPU的利用效率，本设计采用静态显示的方式从串行口输出键盘输入的数据。74LS164为串行输入并行输出的移位寄存器，可以作为静态显示的接口。显示器件则选择较为便宜且显示清晰的八段发光数码管，电路如图7所示。

系统软件设计

软件设计可以说是一个设计的灵魂所在，软件设计思想的优劣直接决定着设计目标是否能高质量地完成。此系统采用效率极高的汇编语言进行编程，通过键盘扫描判断不同的键号

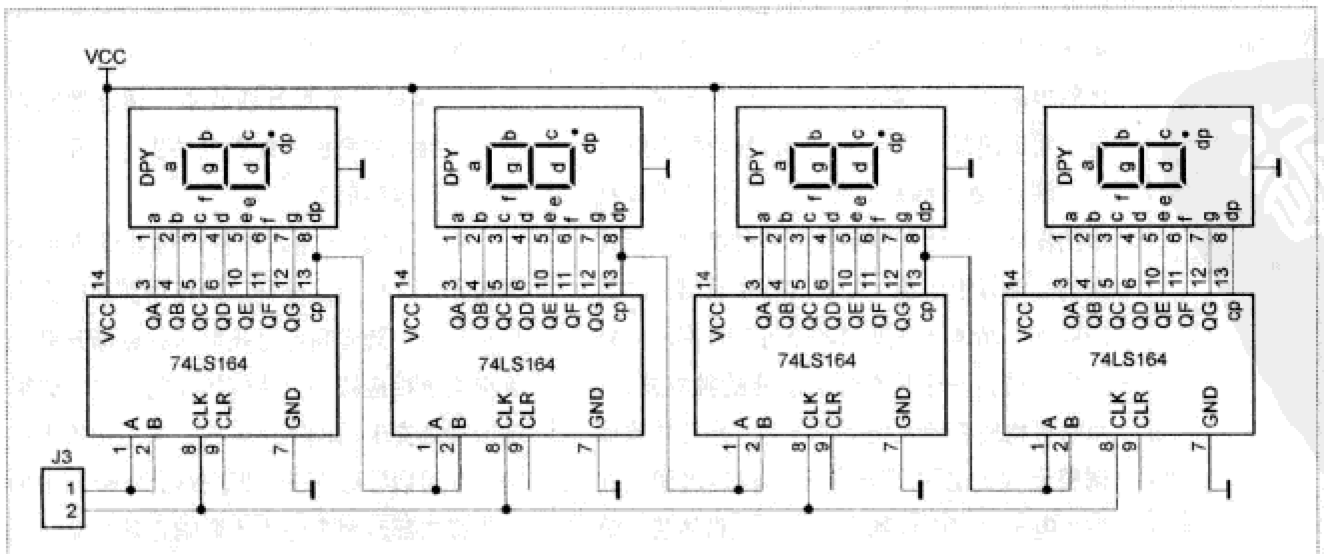


图7 静态显示部分电路

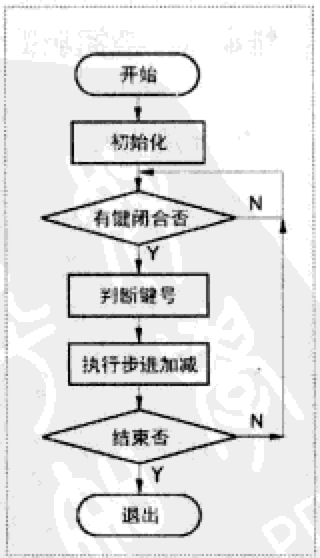


图8 流程图

附表　输出电流与给定值偏差数据表

键盘输入电流值（mA）	测试电流值（mA）	输出电流与给定值偏差变化（mA）
10	9	1<1.009
20	19	1<1.019
50	50	0<1.050
100	100	0<1.100
200	199	1<1.199
500	500	0<1.500
501	501	0<1.501
502	502	0<1.502
503	503	0<1.503
1000	1000	0<2.000
1500	1501	1<2.501
1900	1901	1<2.901
1999	1999	0<2.999

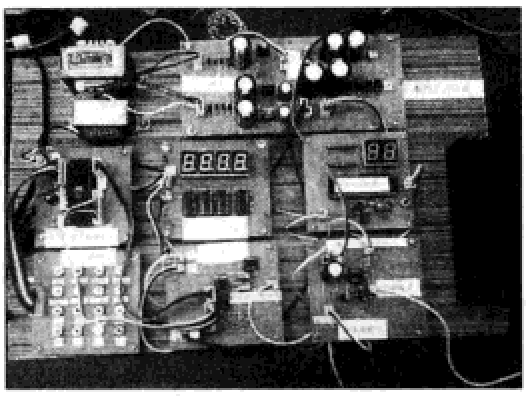


图9 做好的实物

来完成不同的功能（键盘基本功能为：步进1+、步进1-、步进10+、步进10-，扩展功能为步进100+、步进100-、数据直接输入）。采用外部中断的方法进行数据的直接输入，串行口输出静态显示的数据。在单片机检测到外部中断申请时，对输入的数据进行处理并将处理结果送到AD转换器7521将数字量转换成模拟量输出到运放进行处理。流程图见图8。

系统调试、数据测量和结果分析

1. 测试所用仪器

滑动变阻器、万用表（南京科华）、直流稳压电源、毫伏表（hz2790型）、ICR数字电桥、4位半万用表（DT 9203）。

2. 测试方法和步骤

实物电路见图9，用万用表测AD7521的17脚，改变与其连接的变阻器的值，调整其参考电压，实测时大约为－2.45V。用万用表测康铜丝两端的电压，然后用公式$I=U/R$得出其电流。调准AD7521的电压后，改变负载阻值，看是否大于10V，要保证不大于10V。测负载的电压，用$U=RI$得到电流，看是不是变化，要其不变。

3. 实验数据

在键盘上输入设定的电流值，然后在系统的输出端口用4位半的数字电压表测量输出的电流值，见附表。

4. 结果分析

测试中的电流的抖动是由于多方面原因造成的，如电网电源的不稳定、元器件因受温度湿度等环境变化而产生的误差、稳定电源本身的不稳定等，所以在制作过程中要尽量减小可以减小的误差，因而电源的制作要求非常高，并要求它有足够大的功率，否则在负载变化时不足以提供足够的功率支持。

测试结果表明，在输出电流0～2000mA范围内，电流纹波≤0.06mA，输出电流与设定电流相对误差≤1%，电流调节在保持高精度的要求下可以达到最小步进值为1mA。

延伸阅读

认识恒流源

恒流源顾名思义就是指能够在“输入”或者“输出”在一定范围内变动时保持稳定、高效、持续的电流输出，在电源中发挥着重要的作用，采用可调恒流源的电源可对通电时间、电压高低、电流大小进行调节和预设，给开发和实验带来便捷与高效。

恒流源的发展历程

恒流源大致经历了电子管、晶体管和集成电路几个发展阶段。

世界上最早的恒流源，大约出现在20世纪50年代早期。当时采用的电真空器件是镇流管，由于镇流管有稳定电流的功能，所以多用于交流电路，常被用来稳定电子管的灯丝电流。电子管通常不能单独作为恒流器件，但可用它来构成各种恒流电路。由于电子管是高压小电流器件，因此用简单的晶体管电路难于获得的高压小电流恒流源，用电子管电路却容易实现，并且性能相当好。

进入20世纪60年代，随着半导体技术的发展，设计和制造出了各种类型性能优越的晶体管恒流源，并在实际中获得了广泛的应用。晶体管恒流源电路可封装在同一外壳内，成为一个具有恒流功能的独立器件，用它可构成直接调整型恒流源。用晶体管作调整元件的各种开环和闭环的恒流源，在许多电子电路中得到了应用。但晶体管恒流源的电流稳定度一般不会太高，很难达到0.01%/min，且最大输出电流也不过几安培。它适用于那些对稳定度要求不太高的场合。

到了20世纪70年代，半导体集成技术的发展，使得恒流源的研制进入了一个新的阶段。长期以来采用分立元件组装的各种恒流源，现在可以集成在一块很小的硅片上而仅需外接少量元件。集成电路恒流源不仅减小了体积和重量，简化了设计和调试步骤，而且提高了稳定性和可靠性。在各种恒流源电路中，集成电路恒流源的性能堪称最佳。

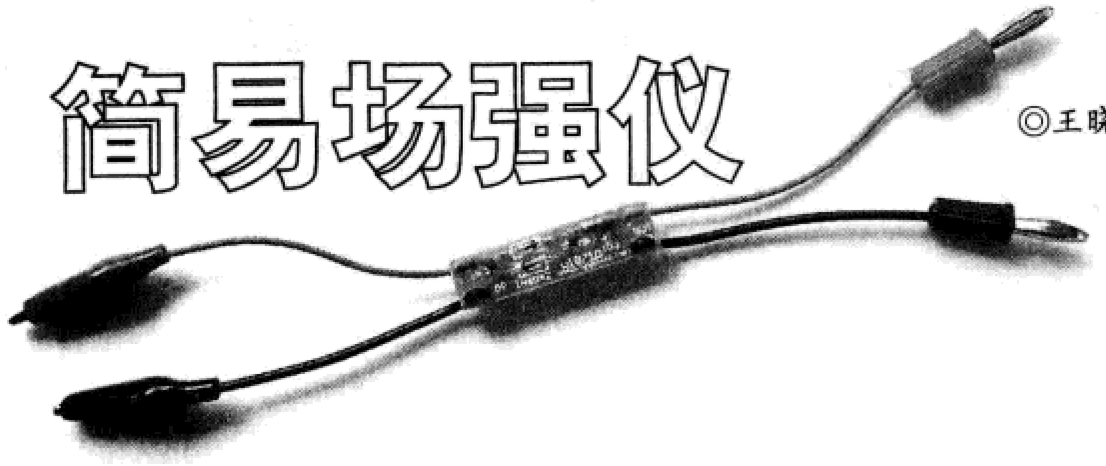
恒流源的应用领域

电流表的校验宜用恒流源。校验时，将待校的电流表与标准电流表串接于恒流源电路中，调节恒流源的输出电流大小至被校表的满度值和零度值，检查各电流表指示是否正确。

在某些精密测量领域中，恒流源充当着不可替代的角色。如给电桥供电、用电流电压法测电阻值等。

在电位差计中如果使用恒流源则可免去校正工作电流这一环节。在用普通的充电机充电时，随着蓄电池端电压的逐渐升高，充电电流相应减小，为保持正常充电，必须随时提高充电机的输出电压。采用恒流源充电，就可以不必调整，即使从充电装置中加入或移去部分蓄电池也不影响正常充电，从而使劳动强度降低，生产效率提高。

简易场强仪



◎王晓鹏

有很多无线电爱好者，都喜欢自己动手组装无线收发装置，比如无线话筒、无线对讲机、无线遥控器等。在组装这些电路的时候，往往缺少必要的仪器设备，通常只能按照图纸装好发射机后，利用接收机互调，一般只能调个大概，缺少量化直观的检测手段。而各种专业仪器往往价格高昂，大多数爱好者都还装备不起，也缺乏借用的渠道。

这里向大家介绍一款简易场强仪，配合万用表使用，就可以方便地测量发射电路的输出功率大小，适用于发射频率不太高，输出功率不太大的电路测量。

图1是这款简易场强仪的电路原理图，高频信号通过2只1N60检波后，变换为直流电压信号，用万用表直流电压挡测量这个电压，就可以直观地观察出高频放大电路输出功率的大小。

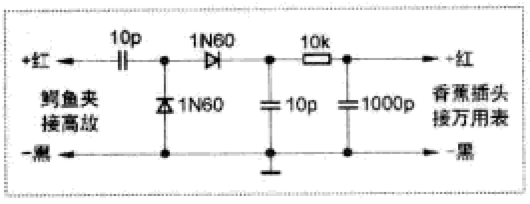


图1 电路原理图

图3 焊好的电路板

图2为全套散件。装配焊接很简单，先焊好板上元件，如图3所示。将香蕉插头和鳄鱼夹焊上相应颜色的引线。为尽量避免引入杂波和减少对测量电路的影响，引线宜短不宜长。

再将引线穿过印板两端的孔后焊在印板上。穿孔是为了避免引线在使用时脱焊、弯断。这样，简易场强仪就做好了，如题图所示。

在使用时，如果被测电路是调频FM无线话筒、无线射频遥控器等毫瓦级微小功率的发射电路，可以直接将红色鳄鱼夹接在发射天线端，黑色鳄鱼夹接地。香蕉插头插入万用表，红头接V/Ω端，黑头接COM端，万用表置于直流电压挡。例如测量调频FM无线话筒，可以配合具有数字频率显示的调频收音机（具有调频FM收音功能的MP3、手机等亦可），必要时还应监测调频FM无线话筒的总电流，调整相关线圈或电容，使得万用表直流电压挡显示的值最大，且收音机收到的信号最清晰、最稳定，总电流正常，就可以认定发射电路处于较好状态了。

如果发射功率较大的无线对讲机、远距离射频无线遥控器等的电路，应将红色鳄鱼夹上接一小段电线作为天线，将此线靠近发射电路的天线，用感应的方式测量，不能直接接在功率输出端。

本电路的频率适用范围大致在10～150MHz左右，被测电路发射功率最好在5W以下。建议使用数字万用表直流电压挡测量，挡位可根据需要自行设置。仅参考电压数值的变化，具体电压值并无太大的实际意义。指针万用表表头内的电磁线圈可能会受到发射电路的强干扰，从而导致测量失败。

在测量时，万用表的指示值可能会随各连接线的晃动、人手的操作等因素而产生波动，是正常现象。原则上应以人手离开发射电路板和本场强仪后的显示值为参考值。被测发射电路最好是晶振或者锁相环等稳频电路的，以尽可能减少频率漂移。不测量时，受引线的感应影响，万用表也显示一个较小的电压数值，如图4所示的，也是正常现象。

这款简易场强仪，虽然达不到精确的测量，但对于缺少专业仪器的业余电子爱好者来说，也不失为一个简单、实用的小工具。

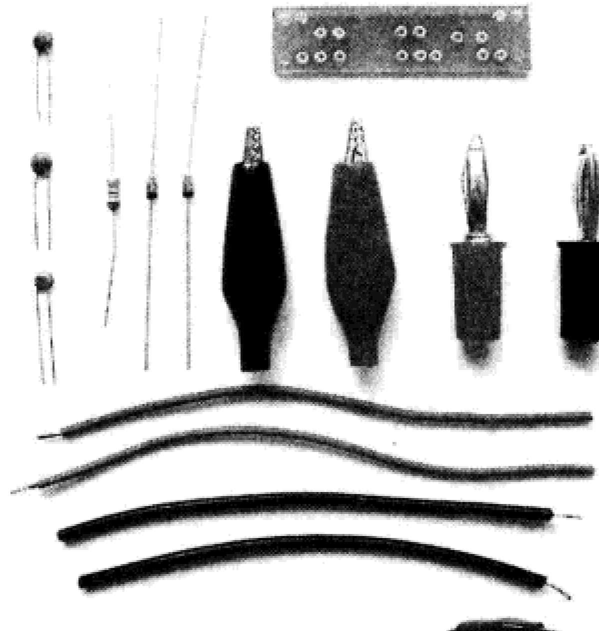


图2 简易场强仪全套散件

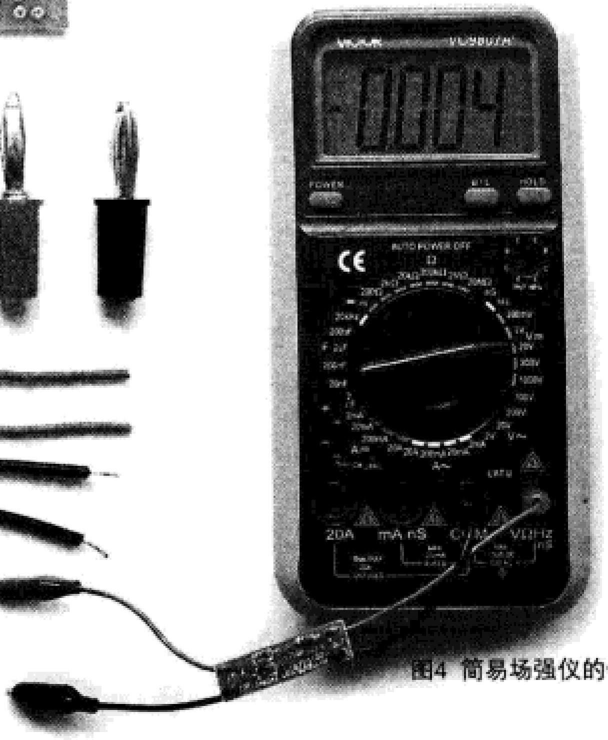
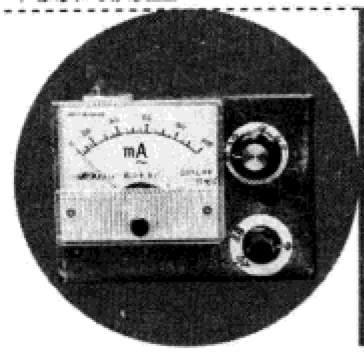


图4 简易场强仪的使用



自制漏电保护器检测仪

◎顾仲飞

市场购买的YLY-3系列漏电保护器检测仪，按照检测漏电保护器漏电动作电流（mA）值，选择检测仪器相适应的（mA）值检测按钮，并保持按下状态，有10 mA 、30 mA、50 mA 、100mA值可选择。通过绿指示灯亮、红指示灯灭和电压表指示为零，表示检测通过。本人制作的漏电保护器检测仪，采用0～100mA交流电流表和双向晶闸管等电子元器件组成，调节相应接近检测电流（mA）值，能直观观测到漏电保护器漏电动作电流值。该检测仪主要用于检测运行中漏电保护器的漏电保护功能，并且可以检测电气线路、电器设备是否确实受到漏电保护器的保护，特别是用于电器设备漏电触电事故现场分析。该检测仪成本低、制作方便附原理图供电子爱好者参考。

电路原理

该漏电保护器检测仪检测 30 mA 电流动作的漏电保护器时，电路由按钮 SB 接通 2kΩ/20W 电阻串联 0 ～ 100mA 交流电流表和 10kΩ 电位器（5W）组成。

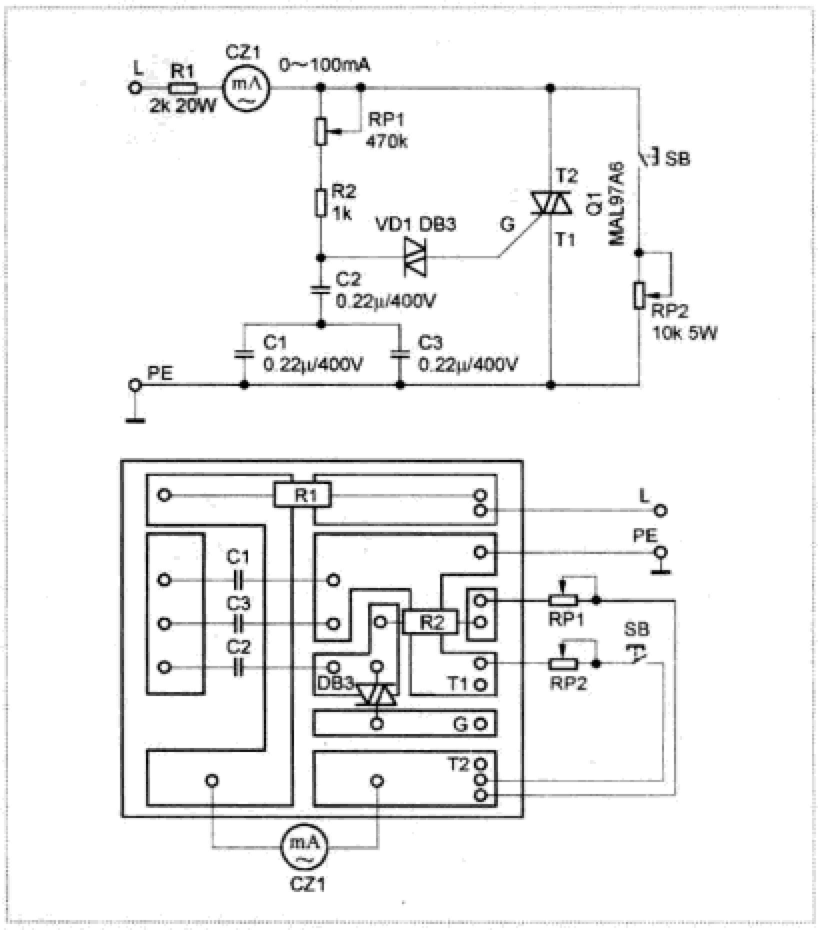
该漏电保护器检测仪检测50 mA、100mA电流动作的漏电保护器时，由于检测50 mA、100mA交流电流大，容易发热，使用大功率的电位器不好找，所以电路采用的是2kΩ/20W电阻串联0～100mA交流电流表和470kΩ电位器、双向晶闸管、电阻、电容、双向二极管电子元件组成。

制作方法

主要元件购买85L1浦江电表厂满刻度0～100mA交流电流表，电表为整流系，采用磁电系内磁式表头，晶体管整流，表壳为有机玻璃制成，刻度清晰外形尺寸为64mm×56mm×52mm，准确度是2.5级。购买WX112（5W）10kΩ电位器一个、2kΩ/20W水泥电阻一个，其他元件按原理图元件选配即可。电流表二个电流端子直接安装在电路板上，可以减少导线连接，制作一个110mm×65mm×75mm的铁壳，电位器RP1、RP2配上二个旋钮，在铁壳装旋钮周围按电流表电流相应画上30mA、50mA 、100mA 刻度供调节时参考。

使用方法

如果对30mA电流动作的漏电保护器检测，先将RP1、RP2电位器电阻调到最大，仪表的接地线与可靠接地线的金属相连，然后用仪表的探针接触漏电保护器负载侧的220V相线，按下按钮SB，调节RP2电位器能使交流电流表指针从0线性升到30mA时漏电保护器动作为正常，后放开按钮SB将RP1、RP2电位器电阻调止最大，取下仪表的探针和仪表的接地线。注意不要调节RP2电位器使交流电流表指针超过35mA，以防RP2电位器电流大而发热。

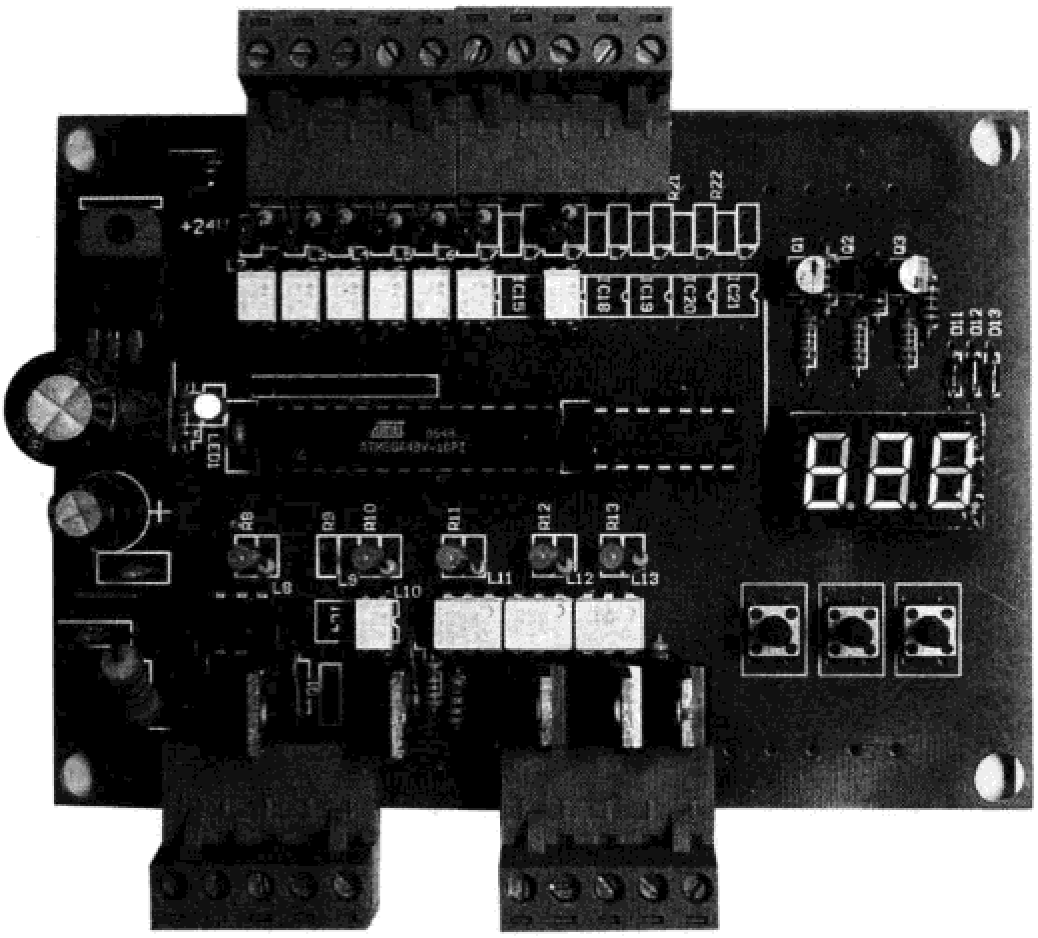


自制漏电保护器检测仪原理图

如果对50mA、100mA电流动作的漏电保护器检测，先将RP1电位器电阻调到最大，仪表的接地线与可靠接地线的金属相连，然后用仪表的探针接触漏电保护器负载侧的220V相线，调节RP1电位器能使交流电流表指针从0突升到30mA然后电流按线性上升接近50mA、100mA时漏电保护器动作为正常，后将RP1电位器电阻调到最大，取下仪表的探针和仪表的接地线。

通用单片机控制器

◎钱健彪



在单件小批的设备上常采用PLC作控制器。虽然用PLC作控制器方便可靠、能够缩短开发周期，但其成本较高，功能不多，当数量稍多时成本影响就很明显，而且难以应付较复杂的功能，使用上有一定的限制。本文介绍一种用单片机控制的多用途通用控制器，可用于一般的小型工业自动设备控制、家居安防、家电控制，有较强的抗干扰能力，相当于一台小型PLC。成本仅需几十元，体积却更小，功能也更多。

设计思路

小型设备控制器的主要工作是接收传感器（如行程开关、电眼、光电开关等）和操作按钮的信号，根据这些信号作出逻辑判断，输出控制信号给执行器件（如继电器、电磁铁、气阀、液压阀等）。系统的简单框图如图1所示。

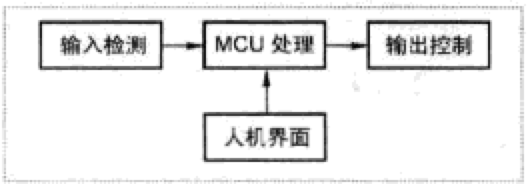


图1

有了总体构想后接下来就是各功能模块的设计了。总体的设计原则是：低成本、简单、方便制作、方便编程、硬件结构简单、免调整、通用。

1. 单片机的选择

因为外围电路不能太复杂，因此对单片机的要求是：抗干扰能力强、输出电流大、外围器件少、电可擦写ROM、带EEPROM数据存储器、I/O口脚足够多、低功耗。封装形式必须是业余条件下可焊接，所以首先排除贴片方式的封装，选用易于拆装的DIP封装。

最后选定了Atmel公司的PDIP28脚封装的ATmega48，这是8位的RISC单片机。最高工作频率16MHz、4K FLASH ROM、256字节EEPROM、512字节RAM、23个可编程双向I/O口驱动能力大于20mA、工作电流300μA(1MHz时钟时)、掉电模式下仅0.5μA、带可校准的内部RC振荡器可不用外部晶振、带上电复位、可编程掉电检测、5种休眠模式、PWM功能、看门狗定时器、UART和SPI串行接口、3个可编程加密位等丰富功能，在此不一一列出。

为了减少电路板体积和布线并充分利用I/O口，虽然ATmega48支持SPI在线编程，但在本电路中不预留在线编程的接口。制作时先用IC插座焊在电路板上，编程时，在编译程序后用读写器将代码写入单片机，然后将单片机插入IC座进行调试。需要修改程序时再撬出单片机，放入读写器，将修改后的代码写入，如此反复以完成程序调试。虽然有点繁琐，但适合业余条件操作。经笔者多次实践，用模块化程序设计，并充分利用人机界面显示调试结果，一般经几十次的擦写过程就可完成程序的调试。读写器可以使用后面提供的资料，自行制作简易读写器。

2. 输入检测部分的设计

感应器的数量一般比执行器件要多，所以I/O口分配给输入的也多一些，本通用控制器输入接口数量最大为12。为提高抗干扰能力、防止尖峰

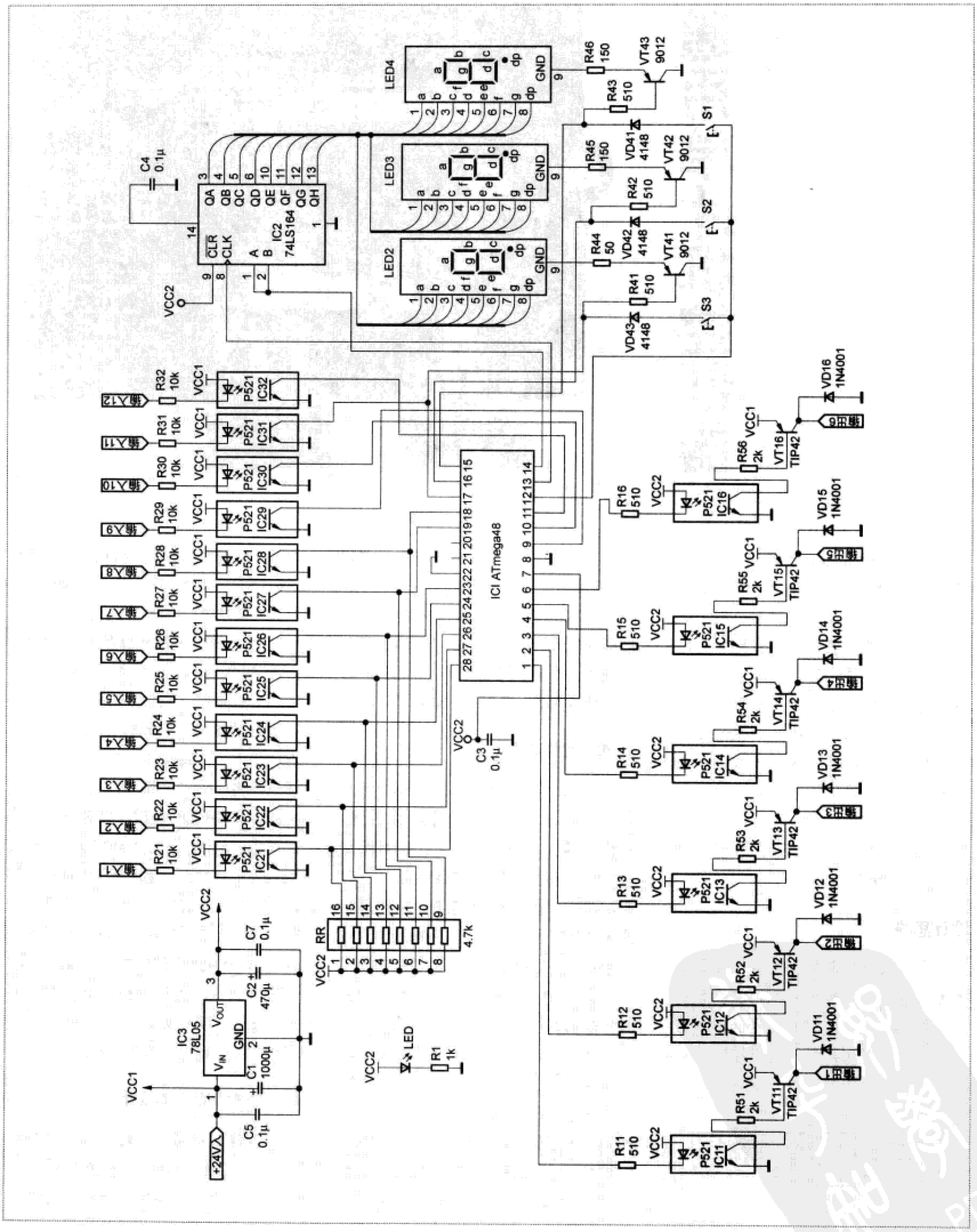

LED4
LED3
LED2
IC2
74LS164
C4
0.1μ
VCC2
R46
150
R45
150
R44
50
R43
510
R42
510
R41
510
VT43
9012
VT42
9012
VT41
9012
VD41
4148
VD42
4148
VD43
4148
S1
S2
S3
ICI ATmega48
C3
0.1μ
R21–R32
10k
IC21–IC32
P521
VCC1
RR
4.7k
IC3
78L05
C1
1000μ
C2
470μ
C5
0.1μ
C7
0.1μ
+24V
LED
R1
1k
R11–R16
510
IC11–IC16
P521
R51–R56
2k
VT11–VT16
TIP42
VD11–VD16
1N4001

图2

脉冲冲击以及进行电平转换，输入点与I/O口之间采用光耦进行隔离。感应器的输出信号速率都不高，可以采用最常用的光耦。如果输入信号的宽度很窄，比如少于50μs，就需要使用高速光耦。为节省电路板空间，均采用4脚封装的光耦。

3. 输出控制部分的设计

感应器的数量通常比执行器件多，所以 I/O 口分配给输出的也少一些，本通用控制器输出接口数量最大为 6。执行器件的电压一般为 12 ～ 48V，高于此电压的应使用外部继电器进行扩展。常用的电磁铁、继电器、气阀、液压阀多为 DC24V、电流在 300mA 以下。这里标准电路按 DC24V/500mA 设计，读者可根据自己的使用情况修改。建议大于 DC48V 或大于 1A 的都使用外接继电器扩展。为实现 DC24V/500mA 的输出，首先需要电平转换，电平转换使用光耦，同时也能达到防止从执行器件返回的尖峰电压对单片机的冲击。光耦之后选用放大量非常大的达林顿管扩展输出电流。

4. 人机界面的设计

控制器为适应多种工况，一般都需要有多个参数可以调节，这就需要有一个人机界面来进行菜单操作。这里设置了一个3位的LED数码管和3个按钮，按钮功能一般为翻页、移位、加，即可满足大部分应用。通过按钮和LED数码管设置的菜单参数存储在单片机的EEPROM数据存储器中，以实现断电后仍能长久保持。数码管在不操作菜单时也可用于显示机器运行时的一些状态。

具体电路

电路原理图见图2，有6路TIP42达林顿管输出、11路光耦输入，3位数码管显示、3个操作按钮。输入电源为外接12～24V稳压电源。其中输入11与数码管LED2共用了一个I/O口，所以当使用3位显示时只能有11路输入，当只需2位显示及2个按钮时可有12路输入。

因整机的功耗不大，电源部分采用常用的78L05降压，78系列的工作稳定、纹波小、价格低廉，缺点是损耗较大，在这个电路中会有少许温升。整机的电流大部分集中在数码管上，如果显示部分不需长时间使用，可在程序中设置当按钮没有被操作一段时间后自动关闭显示，当操作按钮或有突发事件需要显示时再重新点亮显示，这样就可大大减少78L05的温升。输入部分采用P521光耦，可抵御当输入线路较长时在线路上引入的干扰，避免干扰脉冲直接进入单片机。如果输入线路较短且为触点输入时，则可跳过光耦直接将输入连到单片机I/O口。输入1～8的光耦输出端均接了4.7kΩ的上拉电阻以提高输入1～8的抗干扰能力，为了简化布线输入9～12光耦输出没有接上拉电阻。因为光耦的输入端与整机供电共用电源，如果电源电压低于18V，则须降低R21～32的阻值以保证输入光耦的开通。

输出部分通过光耦驱动达林顿管TIP42，每个输出可提供500mA的驱动电流。输出光耦的作用除了电平转换外，可防止负载端产生的尖峰电压直接窜入单片机的I/O口。续流二极管VD11～VD16用于泄放电感性负载断电瞬间产生的高压。本电路中输出电源与整机电源共用，使用者可根据各自需要切断原先的电源连接，在相应的接线端接入独立的12～60V电源给输出供电。改变输出电压的同时需要相应调整R51～56的阻值。使用独立输出电源可实现输出的完全隔离。输出1～6除可直接驱动500mA的器件外，也可通过先驱动继电器，再通过继电器驱动大功率器件。

LED数码管采用3位封装的数码管，笔段驱动用串行转并行芯片74LS164，如果对静态功耗有要求的话换用74HC164。数码管位占用3个I/O并通过9012三极管驱动。数码管位扫描驱动的3个I/O与3个操作按钮的列扫描共用I/O，3个按钮仅需一个I/O，其按钮功能一般为翻页、移位、加，读者可根据需要在程序中设定。

各元器件参数见图2原理图，电路板参见题图。电路板文件可到《无线电》杂志网站上下载，是按双面板绘制的，为方便业余条件制作，元件面（顶面）的布线非常少，用跳线代替的话完全可以用单面板制作。线路板大小和开孔市面上有标准外壳供应。输入输出接线端子采用5.08mm间距的可拔插式接线排。焊接无误后不需要调整，仅需测试78L05输出是否正常、输入输出是否有效便可开始编程。

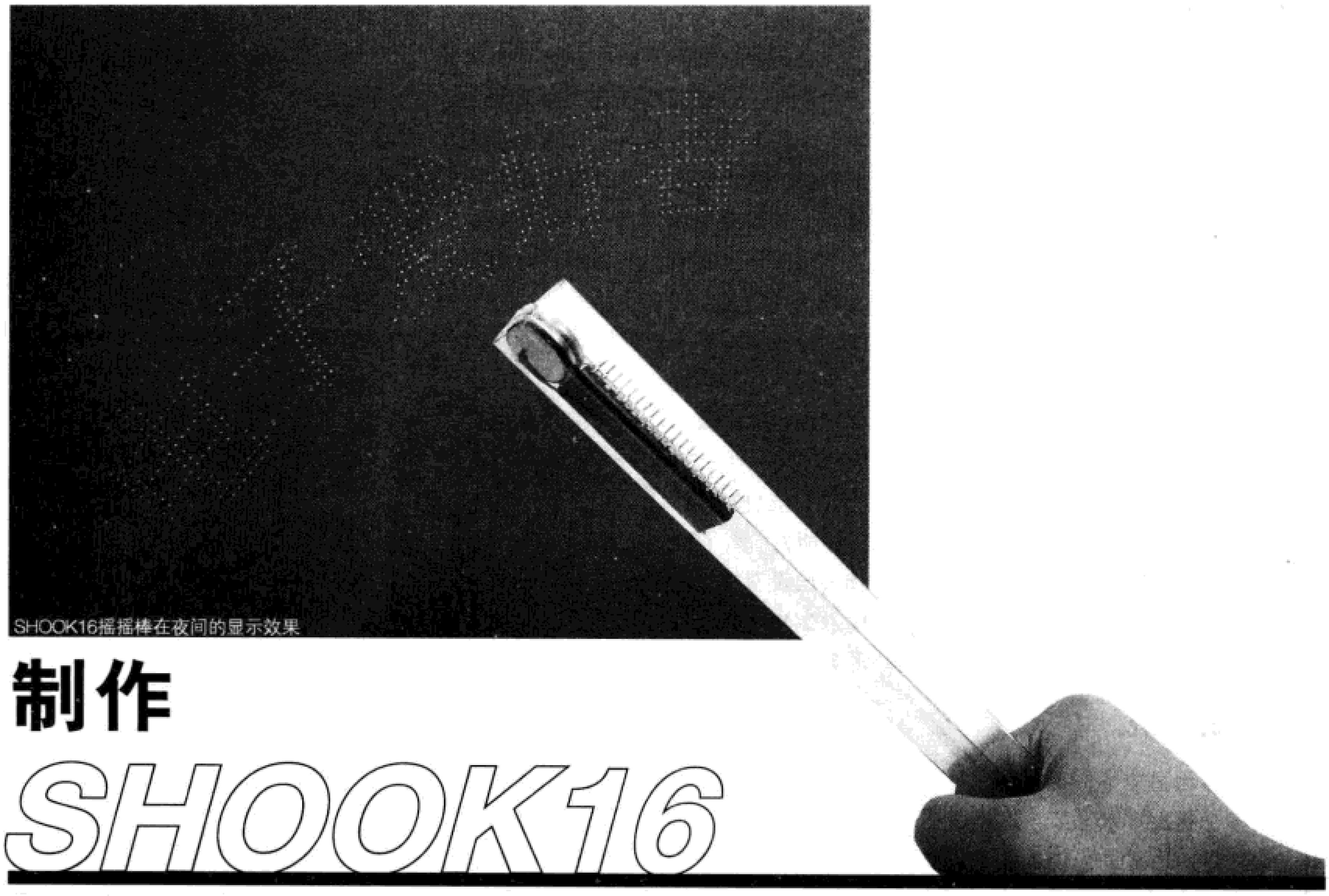
编程和烧写

因为是通用控制板，功能按使用需求来编程，这里就不提供源代码了。ATmega48的编程资料和编程工具有兴趣的读者可到如下网址下载：www.sl.com.cn。

编程时可以将初始化程序、显示程序、按键程序、输入输出程序设计成标准模块，当需要实现不同功能时仅需重新编写逻辑判断部分，实现真正的软硬件通用，同时也可达到PLC开发周期短、编程简单的效果。

需要注意的是I/O口的编程，进入程序后应首先初始化全部的I/O口，输出口先关断输出，以免执行器件误动作，进入逻辑判断程序后再输出。输入I/O虽然有光耦隔离，有一定的抗干扰能力，但输入读取程序应根据输入信号的最小脉冲宽度作程序滤波，以去除输入抖动和短脉冲干扰，提高输入端的抗干扰能力。Ⓦ

黑夜里打开摇摇棒，在空中快速地左右摇晃，神奇的事情就会出现。如果是干木材上的一点碳火，那么摇晃出来的只会是一条弧线。摇摇棒却可以让棒身上的LED灯在划过空中的适当位置显示文字和图形，这一奇迹就是单片机的杰作。单片机爱好者会在《无线电》杂志或者网上找到关于摇摇棒制作的文章，相信许多热血沸腾的朋友已经着手制作了。最先要解决的问题是买到水银开关，它并不怎么常见，虽然价格只有1元钱。接下来是要买一块长条形洞洞板，把8个或16个LED灯并排焊在上面，然后连接LED灯与单片机之间的导线。如果你觉得这样的制作太麻烦，何不试试精简设计的摇摇棒，让制作更简单，让外观更简洁。单片机、LED、电池、导线、塑料管，这5件东西可以制作什么？下面你将了解到如何用这5件材料制作可显示汉字的摇摇棒。我为这款设计取名“SHOOK16摇摇棒”。



SHOOK16摇摇棒在夜间的显示效果

制作 SHOOK16 摇摇棒

◎杜洋

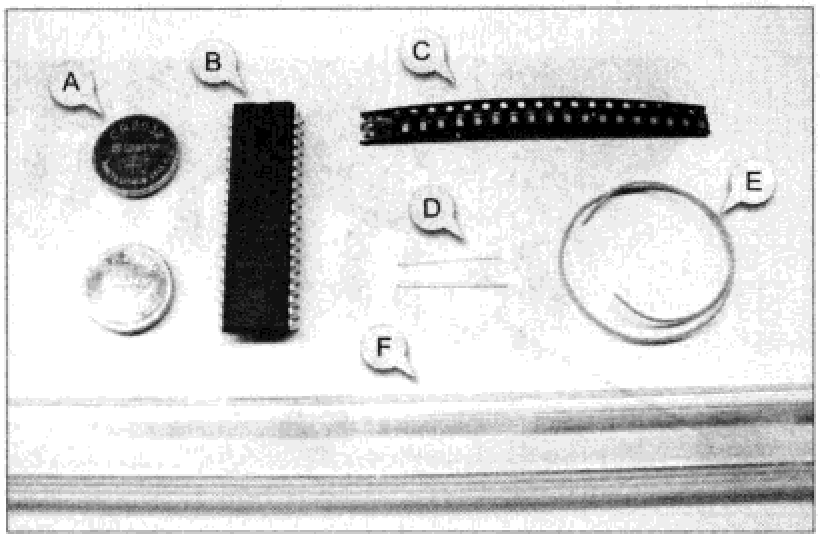
SHOOK16摇摇棒制作起来非常简单，而且它使用的是16个LED灯来显示，可以轻松显示中文、英文和图形。程序设计上考虑了将来的字幕更换，可直接用取模软件生成你需要的字幕内容。整个制作无需PCB板，焊接容易、结构紧凑。只要把贴片LED直接焊接在单片机的引脚上就可以了。而且一般的摇摇棒多采用微动开关来切换字幕，SHOOK16摇摇棒却另有创新，它采用纵向摇动或敲击棒身来切换字幕，字幕的数量完全取决于单片机FLASH存储器大小。SHOOK16采用的单片机是STC12C5A60S2，内部具有60K字节的FLASH ROM空间，而程序本身才使用了2K字节，余下的58K字节可以任你发挥。

第1步

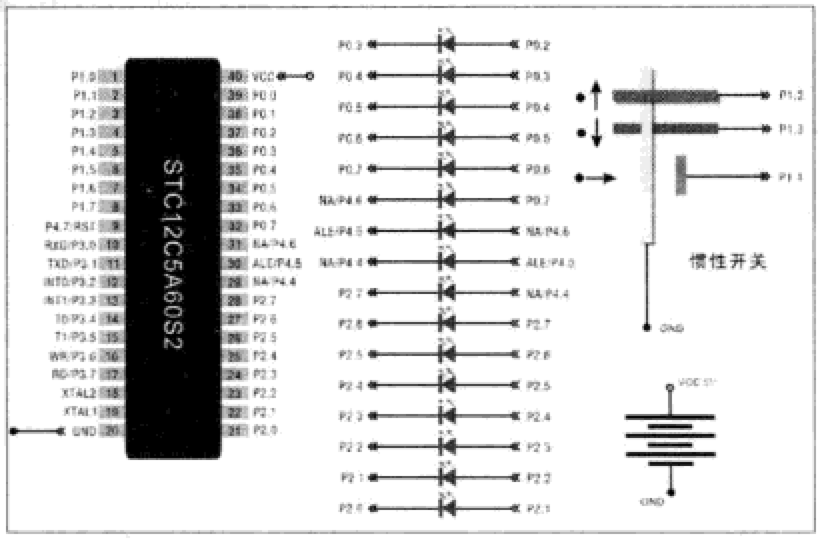
准备制作材料。制作SHOOK16摇摇棒所需要的材料少得可怜，通常的制作都不把电池和导线算到材料里面，而在这里算上它们也不过5种。电池、单片机、贴片LED都可以在电子市场或者网上买到，包装单片机用的塑料管可以在卖芯片的柜台找到，店家多是把它当垃圾处理的，而我们却要把它变废为宝。导线和废弃的元器件引脚不用准备，相信每一个爱好者的桌面上都有一大堆。当然了，因为制作中使用了单片机，所以你还需要准备电脑和为STC单片机烧写程序的ISP下载工具。有了这些就可以完成制作，是不是有些不可思议呢？原来电子制作可以这么简单！

好的制作其实并不需要过多的文字说明，那就发挥我的强项，用图解的方式介绍SHOOK16摇摇棒的制作方法。制作SHOOK16摇摇棒所需要的材料清单见附表。

SHOOK16摇摇棒的电路原理图也很简单，主要有单片机、LED、惯性开关和电池。电路图中标号相同的引脚是连接在一起的，这是网络标号的表示方法，省去了密密麻麻的连接线。其实在以下的制作过程中并不需要回头来参考原理图，因为电路制作是如此简单，以至于只看实物图片就可以完成制作。下面我们就按顺序对制作的关键节点做图文介绍。



所需要的材料



电路原理图

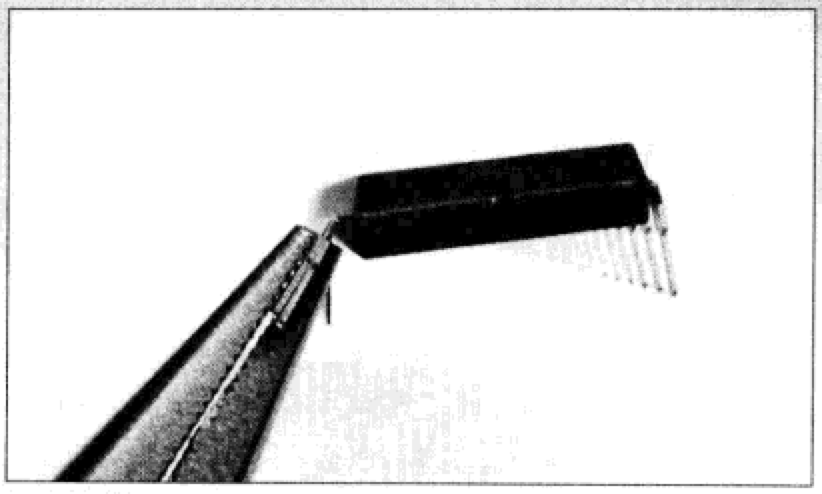
附表

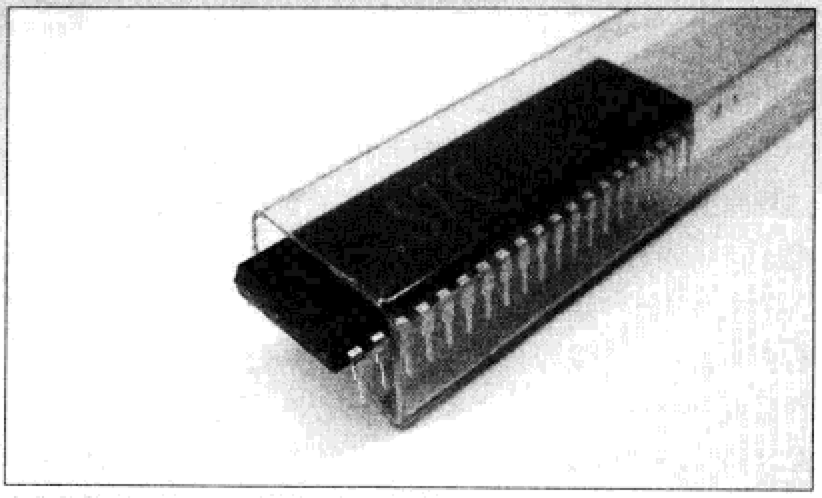
序号	品名	数量	说明
A	CR2032型纽扣电池	2枚	单节电压为3V
B	STC12C5A60S2单片机	1片	可使用STC12C5A系列的单片机替代
C	0805型贴片LED灯	16粒	LED颜色可根据喜好选择，我使用的是蓝色
D	废弃的元器件引脚	2根	如直插式LED引脚、直插式电解电容引脚
E	20cm导线	1条	需要具有一定弹性，轻微弯曲后可复原
F	塑料管	1个	包装单片机用的那种，长度在30~50cm之间

第2步

把单片机第21脚到第40脚一侧的引脚全部用钳子向外侧弯曲，目的是为了增加单片机的宽度。

为什么要这样做呢？我在设计的时候是使用了电子市场中常见的包装单片机的塑料管，店家多把空出来的塑料管丢掉。我觉得它们结实而且透明，应该可以制作些什么，于是就向店家要了一些。在设计摇摇棒的时候突然想到塑料管的妙用，如果用塑料管来做摇摇棒的身体应该是很理想的。可是当我把单片机放进去的时候却发现单片机会左右、上下晃荡，这样制作出来的摇摇棒会在摇动时叮当乱响，不知道的还以为是拨浪鼓呢。我也想过用胶带固定或是用纸填充空隙，可是会让制作变得困难，而且也不美观。所以不是缩小塑料管的宽度就是增加单片机的宽度，于是弯曲一侧引脚就可以最快速地解决问题。那为什么只弯曲第21脚到第40脚一侧的引脚呢？这里面还是有门道的，下文告诉你。


用钳子弯曲单片机第21脚到第40脚一侧的引脚


弯曲角度以单片机放入塑料管后不易左右移动为止

第3步

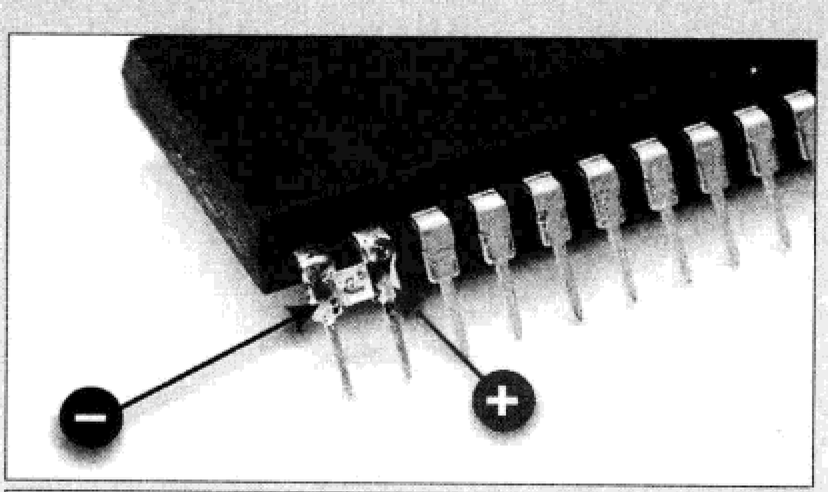
制作LED显示电路。把贴片LED直接焊接在刚刚被弯曲过的单片机引脚上。从单片机的21脚（P2.0）开始焊起，贴片LED的负极连接到21脚一侧，后续的LED负极也都朝向这一侧。16个LED分别焊接在单片机的21脚到37脚之间。焊接LED的时间不要过长，烙铁尖不要碰到贴片LED的塑料面上，LED排列得整齐，显示效果才会更好。

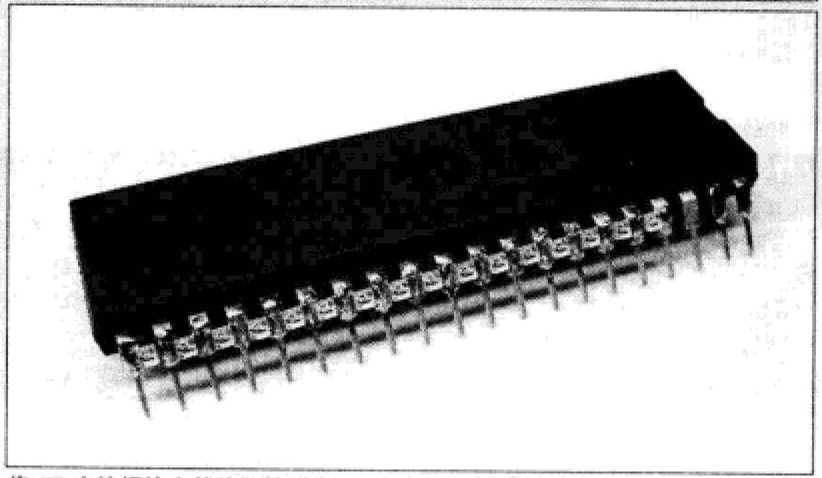
有朋友可能很少接触这种0805型贴片LED，它的体积比大米粒还要小，亮度却不比直插式的LED低。这种贴片LED在各大电子市场都有销售，包装它们的是一个大圆盘里面的黑色塑料条，好像电影胶片一样，许多贴片元器件都是这么包装的。

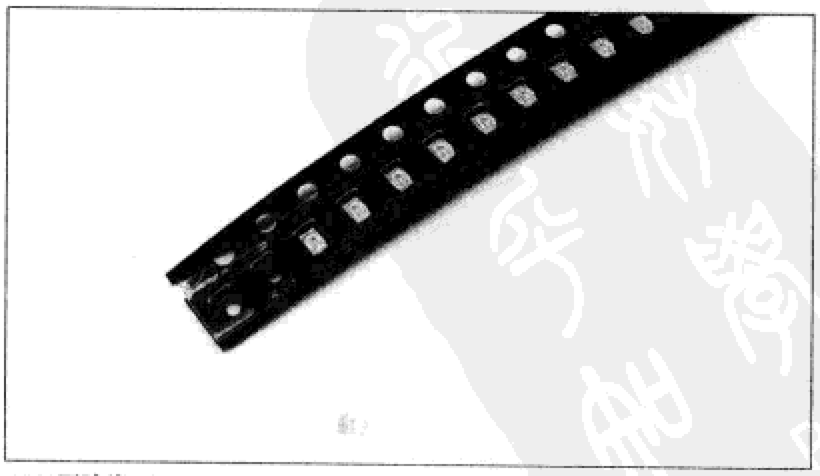
贴片LED和直插LED在使用上并没有太大区别，只需要学会识别贴片LED的极性，还有就是在焊接时控制好烙铁的温度和焊接时间。贴片LED的两侧有两个电极，其中标有绿色小点的一侧为LED的负极。焊接时先将两个焊盘中的其中一个上锡，用烙铁熔化焊盘上的锡，同时用摄子轻轻地夹起贴片LED放到对应位置，然后撤走烙铁，等锡凝固后再用常规方法焊接另一边的焊盘。初次焊接的朋友可以在洞洞板上练习，熟悉动作之后再正式焊接。

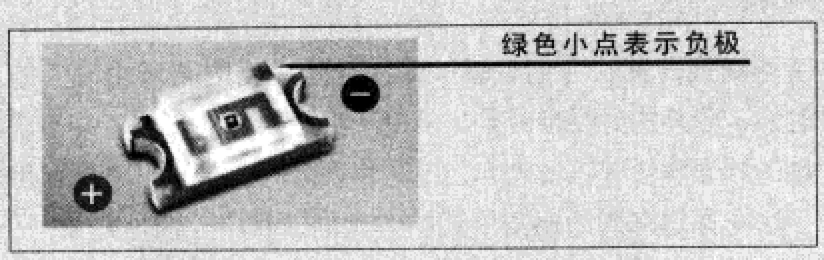
这种直接焊接的灵感来自于我之前设计的 mini1608 电子时钟，当我把 LED 点阵屏直接焊接在单片机的引脚上时，我就开始对直接焊接的制作着了迷。后来的一段时间里，我总会用身边可以找到的元器件往单片机的引脚上焊，其中的某一天就想到了贴片 LED。但是当时并没有想到用这个方法来制作什么东西，于是存入了大脑深处，直到在写摇摇棒设计方案的时候才又把陈年的创意翻了出来。贴片 LED 的体积小巧,包装单片机的塑料管又是透明的,正好可以透出 LED 的光。

如此焊接在硬件结构上确实不错，可是在电路原理和单片机编程上面是否行得通呢？嗯，这里的关键问题就是连续16个贴片LED所连接的引脚都必须是I/O接口，并且I/O接口

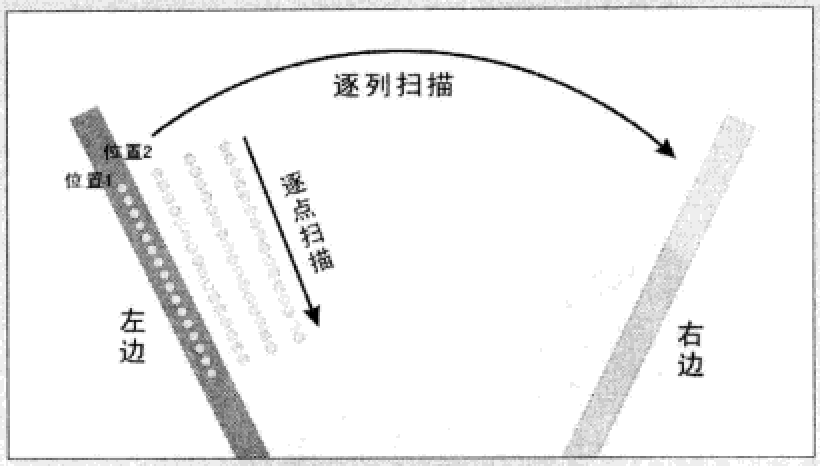



将LED直接焊接在单片机的引脚上，LED负极都朝向单片机的21脚一侧


0805型贴片LED



贴片式LED的极性



逐点扫描形成列数据，然后再逐列扫描形成字幕

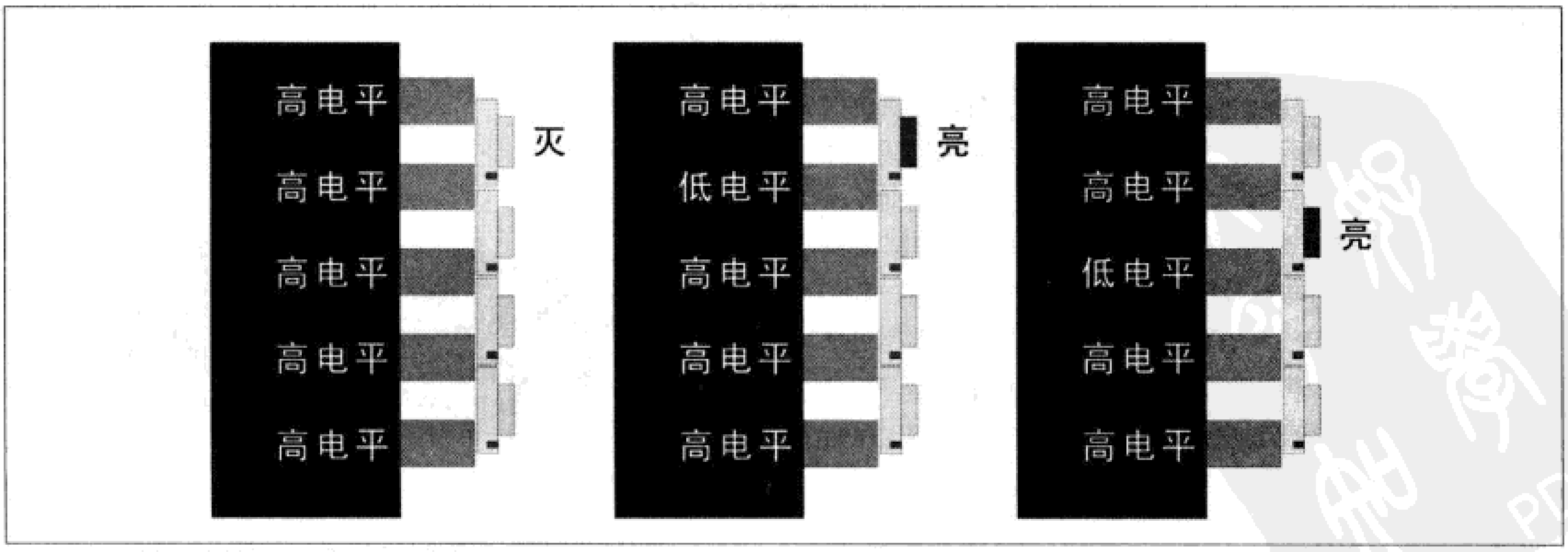
在输出高、低电平时都可以直接驱动LED发光。也就是说，单片机I/O接口输出高电平时至少需要有20mA电流的推动能力，唯一可以做到这一点的也只有I/O接口的推挽工作方式了。恰好STC公司的10、11、12系列的单片机都有这一配置，所以我选择了手边常用的STC12C5A60S2来实现。

电路原理没问题了，那么如何编写LED的驱动程序呢？不仅让LED可以任意点亮，还要能控制它们在摇动过程中显示汉字和图形。老实讲，我在设计SHOOK16摇摇棒之前并没有了解过其他摇摇棒的原理和编程方法，所以编写传统设计的摇摇棒尚无把握，更何况这种从来没有试过的驱动方式了！攻下这一难关确实耗费了不少精力，值得庆幸的是N次调试之后我成功了，现在就滤除那些挫折与失败，仅把成功经验与你分享。

传统的摇摇棒设计是采用传统的单片机灌电流方式点亮LED的。现在闭上眼睛，想象一下摇摇棒摇动时的1/4慢镜头，在摇摇棒处在最左边的时候，16个LED灯会显示字幕数据表里最左边的一列，停留一段时间之后所有LED熄灭，等待摇摇棒的身体摇动到字幕数据中下一列的位置，然后显示、停留、熄灭，如此方法一直显示到字幕的最右边。好了，现在取消慢镜头，变成正常速度，我们的眼睛便可以看到那星星点点的亮光在浩瀚无际的夜空中形成飘浮的文字，这种显示方法应该叫做逐列显示。

SHOOK16摇摇棒在1/4慢镜头的时候看起来是逐列显示的，可是在1/16慢镜头的时候却又有不同。SHOOK16摇摇棒中单片机与LED的连接方式注定16个LED不能同时点亮，它们必须逐一点亮。同一时间内只能有1个引脚为低电平，其余引脚都必须为高电平。在摇摇棒的身体摇动到某一位置时，这一列的字幕数据表会被送入显示程序，显示程序要怎么做呢？有点麻烦，它要从上到下依次检查这一列数据中需要点亮的LED。首先检查最上边第1个LED，这一列的数据中不需要它亮，那所有I/O接口输出高电平，停留一段时间再检查第2个LED。嗯，第2个LED需要亮，于是连接第2个LED负极的引脚输出低电平，其他I/O接口输出高电平。这时第2个LED正极是高电平，负极是低电平，LED点亮。因为LED反向不导通，所以第3个LED不亮，其他的LED两极都是高电平也不亮。点亮一段时间后再依此方法检查其他LED。在1/16慢镜头时，16个LED就好像单片机实验板上的流水灯程序一样逐一点亮又逐一熄灭。在1/4慢镜头的时候逐点扫描只是一瞬间的事，所以看起来它们是同时点亮的，因为它们处在不同的速度等级上。

编写驱动硬件的工作就只是循环将17个I/O接口中的某一个变成低电平而已了。解决了贴片LED驱动的问题却又产生了新问题，我们如何让单片机知道在摇动时哪一时刻摇摇棒的身体处在最左边呢？

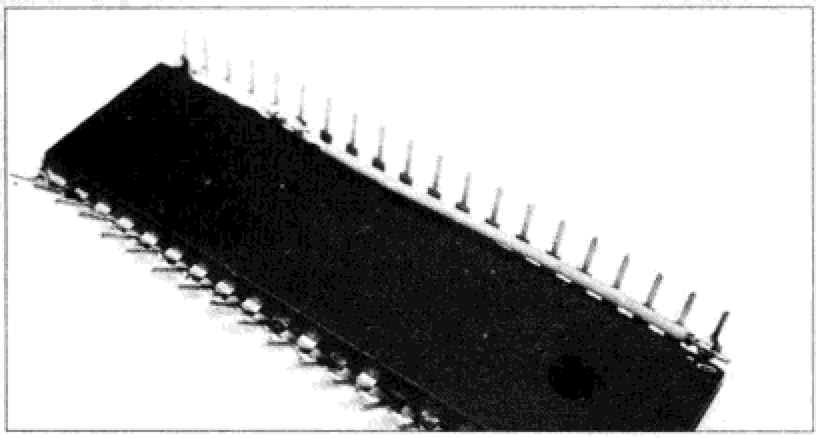


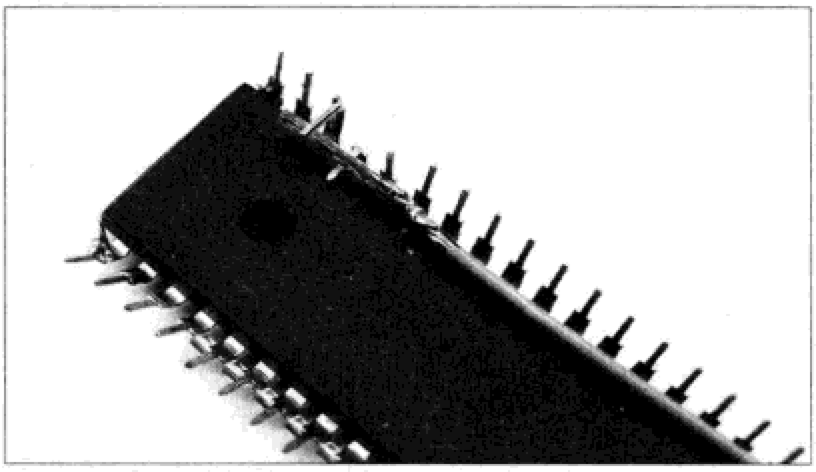
某一I/O接口为低电平时负极与之连接的LED点亮

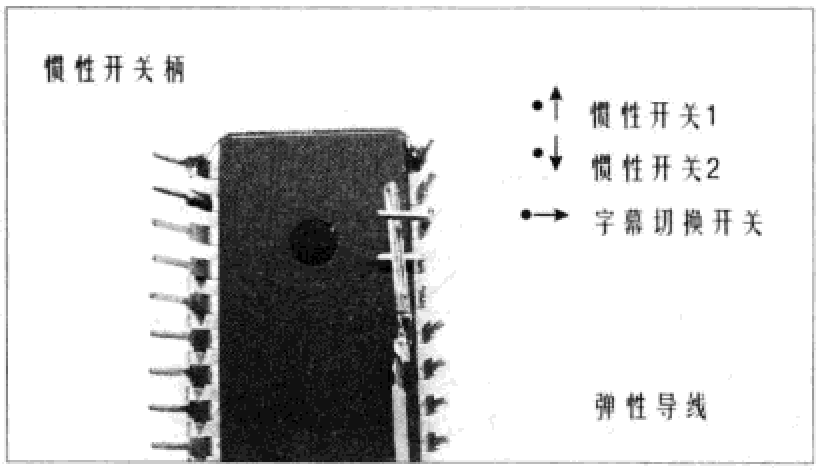
第4步

制作三向惯性开关。将一支废弃元器件引脚对折并焊接在弹性导线的一端上，弹性导线的另一端焊接在单片机的第20脚（GND）内侧，注意掌握导线长度。将第4脚（P1.3）引脚向内弯曲至芯片底部，形成惯性开关的一个触点。再用废弃元器件引脚向上延长第3脚（P1.2），使之形成与第4脚（P1.3）平行且相对的另一个触点。把第5脚（P1.4）稍微向内弯曲一点，使它可以在导线向这一侧撞击时首先接触到第6脚，这样就形成了3个触点。3个触点分别对应SHOOK16摇摇棒的3个方向，所以叫三向惯性开关。弹性导线指的是在轻微的外力作用后能够恢复原状的普通导线，也可以用细铁丝或钢丝代替。调整弹性导线使之在静止状态时处于上、下两个触点的中间。导线悬空的一端应该有一定重量，增加惯性的作用力。

为什么要制作惯性开关呢？其实惯性开关的出现就是为了解决我们前面出现的问题——让单片机知道摇摇棒身体所处的位置。当向右摇晃的时候，由于惯性的作用，惯性开关柄就会撞到左边的惯性开关2，向左摇晃的时候弹性导线会撞到右边的惯性开关1，向前摇晃的时候就会撞到后边的字幕切换开关。它们相撞的时候就是速度刚刚开始改变的时候，分开的时候也就是速度趋于稳定的时候。更多关于惯性的原理解释可以致电你的中学物理老师。单片机正是利用了这个原理来判断棒身所处的位置的，其中“惯性开关1”和“惯性开关2”两个触点是用来判断棒身左右位置的，那“字幕切换开关”让摇摇棒多了一样功能——前后摇晃或敲击时切换字幕。所以这种用弹性导线制作的惯性开关不但不需要使用水银开关，而且还独具特色。


弹性导线的另一端焊接在单片机的第20脚内侧

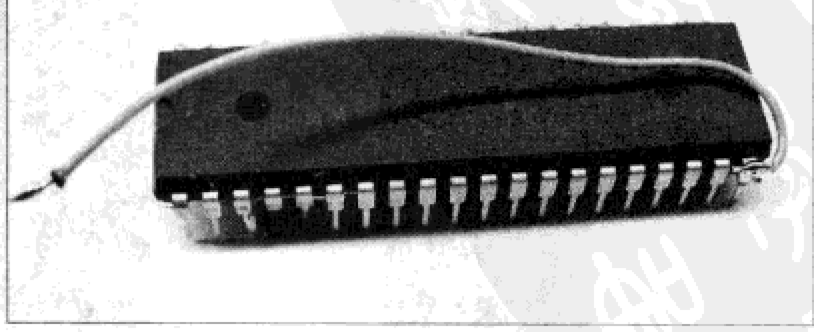

调整弹性导线使之在静止状态时处于上、下两个触点的中间

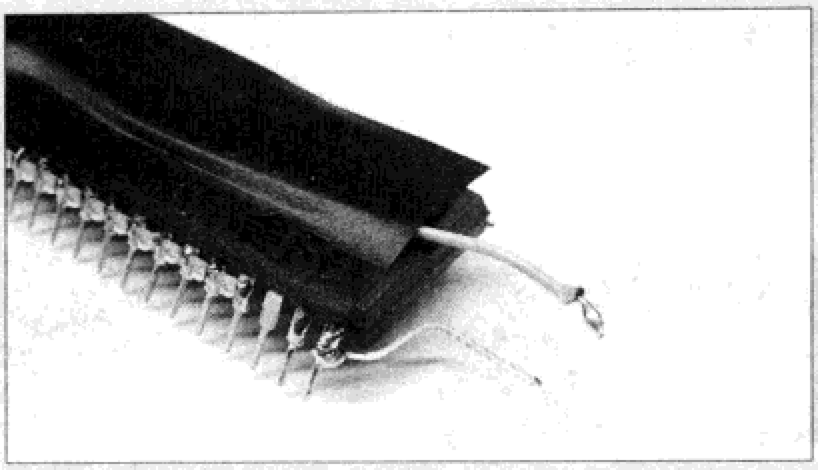


三向惯性开关分别对应SHOOK16摇摇棒的3个方向

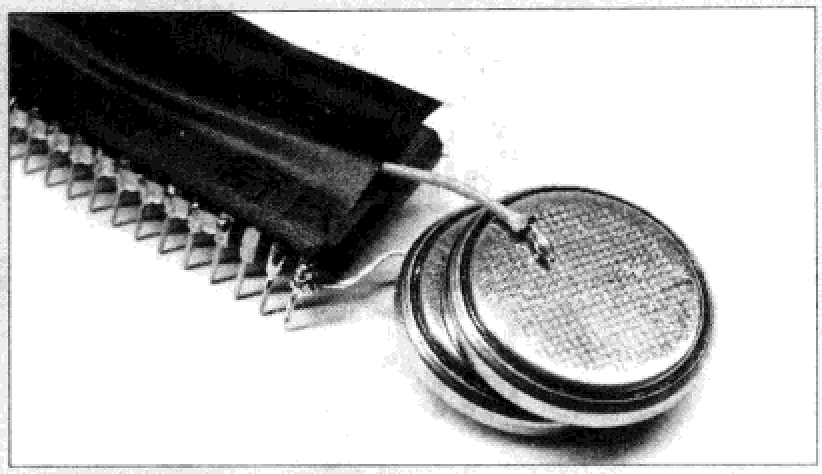
第5步

制作电源电路。取一段导线将一端焊接在单片机的第20脚（GND）上。导线另一端的接头处挂上大量的锡，作为电池负极的接触点。用胶带固定导线，使之在摇动时不易乱窜。再把一支废弃的元器件引脚焊接在单片机的第40脚（VCC）上，使引脚与单片机上方的导线平行且相对，它们之间的空隙就用来安放电池。将单片机连同电池一并塞进塑料管中，可用透明胶带缠绕单片机一圈，并在塑料管开口处留出胶带头，以方便拉出电池和单片机，摇摇棒不用时可拉出电池（或把纸片塞在两块电池中间），最后用透明胶带把开口处包好。因摇动时的离心力向上，加之电池塞入塑料管

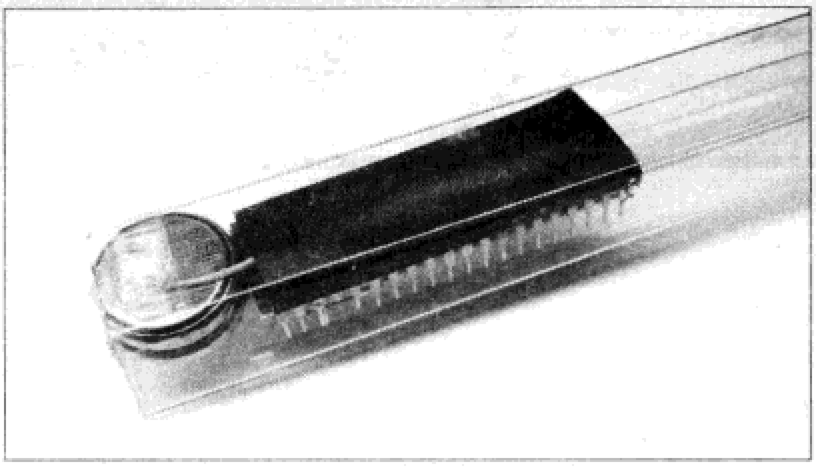

取一段导线将一端焊接在单片机的第20脚上



把一支废弃的元器件引脚焊接在单片机的第40脚上



将纽扣电池重叠后放入正、负极接口处



将单片机连同电池一并塞进塑料管中

SHOOK16摇摇棒在夜间的显示效果

时本来就已经很紧了，所以单片机及电池不会向下滑落，不需要设计单片机下方固定。

选择适合的电池是决定整个设计成败的又一关键。最初的我采用的是3节5号碱性电池，因为我总觉得碱性电池的能量是很大的，可以让SHOOK16摇摇棒使用得更长久一些。于是我在单片机的正、负极上引出两条导线，通过中空塑料管延长到手柄握着的一端，然后把大大的电池盒用胶带绑在塑料管上。这样一来既不美观也不好操作，和前面的巧妙设计形成了很大的反差。必须重新设计电池方案，哪怕做出一些牺牲。正巧手边有前不久为录制LED点阵屏测试方法视频节目时而购买的纽扣电池，型号是CR2032。我拿出电池往塑料管里塞了塞，虽然有点紧，但还是可以牢固地塞进去。我大喜！这不正是我想要的样子吗？马上用短一点的导线把两节纽扣电池夹在中间，一并塞进塑料管里。哈哈，那电池、那塑料管、那单片机，就好像老天爷为它们保了媒一样，那么的般配、适合。不过两节CR2032串联的电压是6V，单片机的工作电压是4.5~5.5V，这样连接会不会损坏单片机呢？其实并不会，首先电路中存在一定压降，加之纽扣电池可提供的电流并不大，二者相配有惊无险。而且因为单片机第21脚～第40脚向外弯曲，使得另外一侧的引脚紧贴塑料管内壁，让引脚内侧空出一大块空间，正好是给惯性开关预留的位置，这也正是我要弯曲单片机第21脚～第40脚一侧引脚的原因。

现在，SHOOK16摇摇棒制作完成。在宁静的夜晚，召集家里的亲朋好友坐在沙发上，关灯，然后把摇摇棒上LED的一面对着他们匀速摇晃，那空中飘浮的文字一定会让在场的观众惊叹不已。敲击棒身，“啪”的一声，字幕改变了内容，再敲击——“啪”——又变了。表演结束后，打开灯，其中某位观众站起身来气愤地说：“你要换字幕就换嘛，为什么用棒子打我的头？！”没错，SHOOK16摇摇棒可以为你的生活带来更多精彩和乐趣。

除文章中的提示外，你还需要注意以下几个问题：

◆在开始制作之前，先要将 SHOOK16 摇摇棒的 HEX 文件烧写到单片机里。

◆《无线电》杂志的网站上有提供 SHOOK16 摇摇棒 HEX 文件的下载。

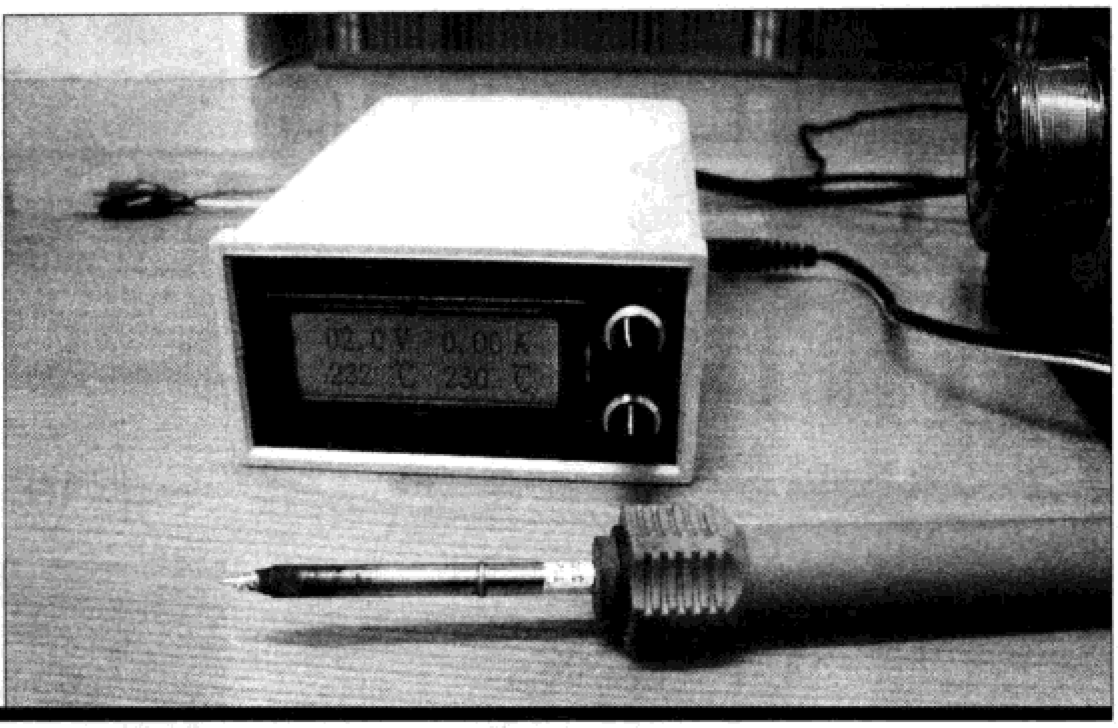
◆用 STC-ISP 软件烧写 HEX 文件时要选择“内部 RC 振荡器”。

◆本制作采用 STC12C5A60S2 单片机，不可使用其他系列的单片机替代。

◆如果遇到制作上的问题可以在网上向我提问，我会尽量帮助你解决。

烙铁头温度控制电路

◎周长镇　关山



前段时间朋友送了2个白光T12烙铁头（见图1），还推荐网络上的几个论坛，上面有好多介绍白光T12烙铁头使用经验和温度控制电路的，说是能做到恒温控制。开始还不相信有这样的烙铁头，查了下资料，发现这款烙铁头内部有仪表测温用的热电偶串接在烙铁芯的引线中，固定在加热芯的顶部。于是自己也设计了一款温度控制电路，把烙铁头放入普通烙铁手柄中，经过一段时间的使用，感觉效果很好，下面详细介绍控制电路硬件和软件的设计。

用白光T12烙铁头制作的烙铁主要特点有：加热速度快，在26℃室温下升温到200℃的使用温度，用时仅20秒左右，控制电路电源使用的是15V，如果使用24V加热速度会更快，用低压电源供电，对人身、对元件使用更加安全，在用市电不方便时可使用电池供电，烙铁头和加热芯一体化结构，热量传递效率高，整体重量轻。

一、电路原理图简介

电路包括电源、液晶显示、输出控制、热电偶电压测量、参考温度测量等几部分，见图2。单片机选的是P89LPC938，使用了其内部的7.373MHz振荡器、I^2C总线和10位AD转换。

控制电路电源要求用输出电压15～20V、输出电流大于2A的直流电源，一般都使用旧的开关电源板或是笔记本电源。电源经7805输出5V给双运放LM358和液晶屏供电，再经7133输出3.3V给单片机、仪表放大器AD623和数字温度测量电路LM75A供电。电路中还加了LM317做调压电路，RP1是调整电压的电位器，R2是电流采样电阻，信号经LM358放大，这样可调电源电压电流信号都进入单片机，最后在液晶屏上显示。

液晶屏型号是VTM12232C9，和AGM1232K的电路一样，显示点阵122×32，发光二极管背光，有18个引脚。VDD接5V，对比度调节V0、VSS和发光二极管K接地，发光二极管A经R6限流接5V电源，其余引脚为数字接口受单片机控制，其中E1、E2是内部2个显示区域的选择，R/W为读写控制，RES是复位引脚，A0区分传输内容是命令还是显示数据，DB0～DB7接单片机的P2传输数据。

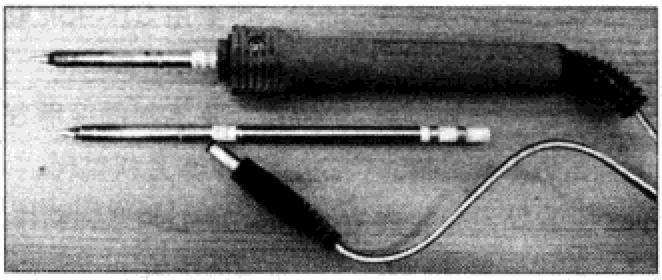


图1 白光T12烙铁头

单片机P0.7脚输出可调节宽度的脉冲控制光耦，继而控制P沟道场效应管VT1 IRF9540给烙铁头供电，实现温度调节。接到烙铁头的输出线要注意极性，这个极性是热电偶温度高于参考温度时输出的电压极性，接反了会造成测温数据为0，输出功率始终最大，严重时烧坏烙铁。

仪表放大器AD623内部集成了特性一致的3个运放和电阻网络，组成的单运放增益最高可达1000 倍，适合小信号的放大。单电源工作时在输入信号的共模电压满足一定条件下能满电源幅度输出，本电路中不能够满足条件，只好增加了负电源。负电源产生电路工作原理是：单片机P1.7脚设为推挽输出，占用一个定时器定时翻转，输出高达几十kHz的脉冲。脉冲高电平期间给C12充电，充电电流流经VD5进入地。脉冲低电平时单片机P1.7脚相当于接地，

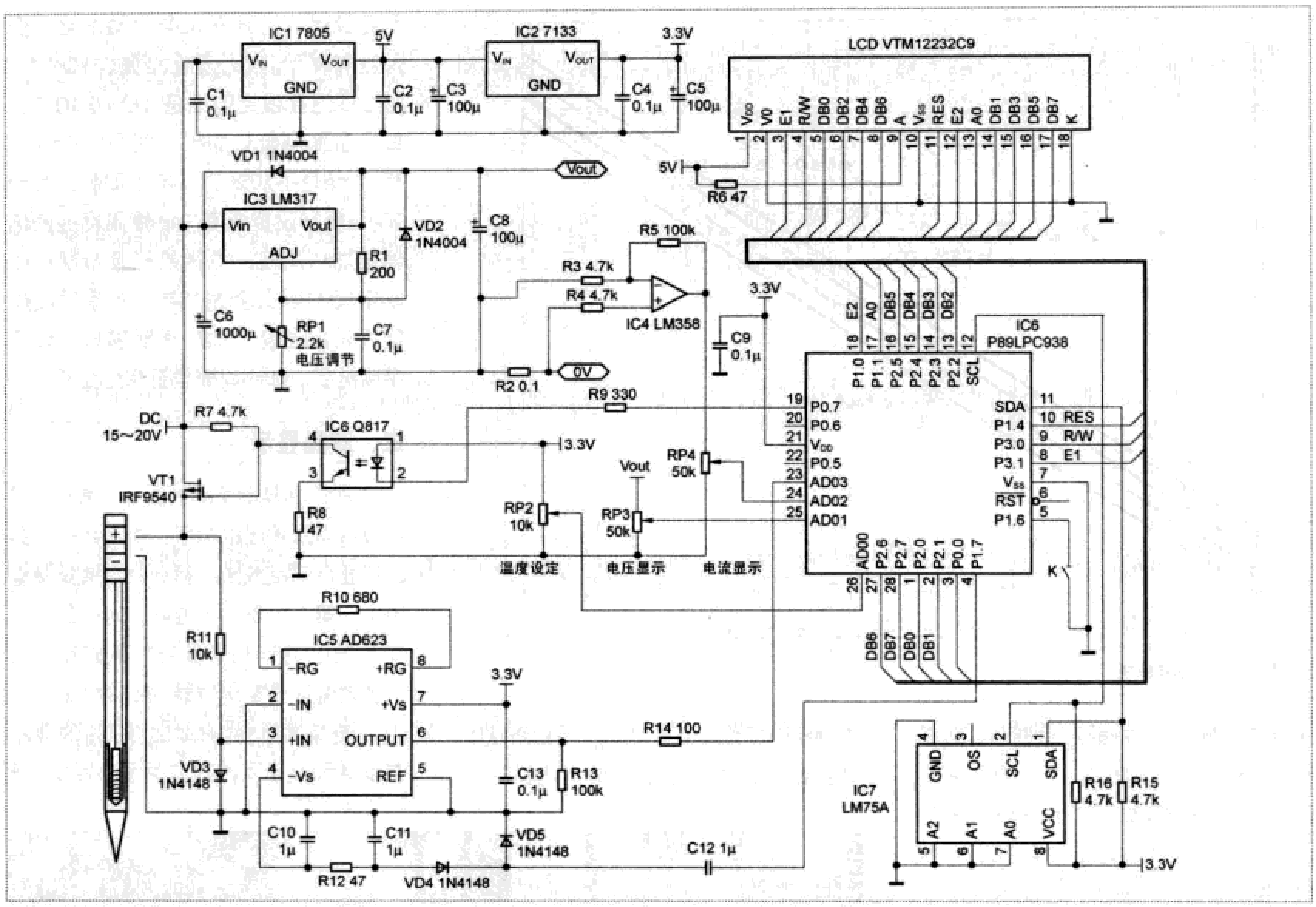


图2 控制电路原理图

此时C12上充满的电荷经地给C11、C10充电，充电电流流经VD4回到C12负极，这样在C10、C11上就产生了负压，实测电压为-2V，能够保证运放正常工作。VD3的作用是限制输入电压幅度，当烙铁加热时，输入的高电压经R11限流、VD3限压，防止损坏运放。

LM75A 是一个使用了内置带隙温度传感器和Σ-△模数转换技术的温度-数字转换器，它所测量的温度以数据的方式存储在温度寄存器（Temp）内，具有I^2C总线接口，同一总线上可连接多达8个器件，电源电压范围：2.8～5.5V，温度测量范围：−55～+125℃，提供0.125℃的精度的11 位的ADC。单片机通过I^2C总线接口可以直接读出温度寄存器的数据，作为热电偶的参考温度进行补偿计算。

二、温度测量与控制

1. 烙铁头内置热电偶的特性

不同分度号的热电偶的温度 - 输出电压曲线是不同的，查找相关资料没有查出烙铁头内热电偶的分度号，只好通过加热烙铁头测量输出电压，再和不同分度号热电偶特性核对，发现其特性比较符合分度号为 N 型的热电偶特性。实际使用时，烙铁温度控制到 200℃左右就可以，设计调温范围为 160 ～ 340℃就够用了，N 型热电偶在这段温度范围内的曲线见图 3。N 型热电偶的两极材料为镍铬硅 - 镍硅，温度测量范围是 -270 ～ 1300℃，在 160 ～ 340℃区间其变化趋势为一中间下凹的曲线，接近于直线。随着参考温度的变化，其输出电压也呈线性变化。以参考温度 20℃，经过（5.388mV，200℃）、（8.816mV，300℃）两点作一条直线，则得到公式：$t = 29.17 \times U_t + 42.82$ 式中U_t是热电偶的输出电压，单位为毫伏（mV）。考虑到参考温度变化的公式：$t = 29.17 \times U_t + 0.766 \times T_r + 28.092$ 式中T_r为参考温度，即测量电压点的温度，电路板的环境温度。注意公式仅适用于 160 ～ 340℃，超出范围误差将增大。

2. 温度转换

从温度转换公式可以看出，要得到烙铁头的温度只需测量热电偶电压和参考温度就可以了。热电偶的输出电压较小，需要放大才能用单片机采集，AD623 的放大倍数用

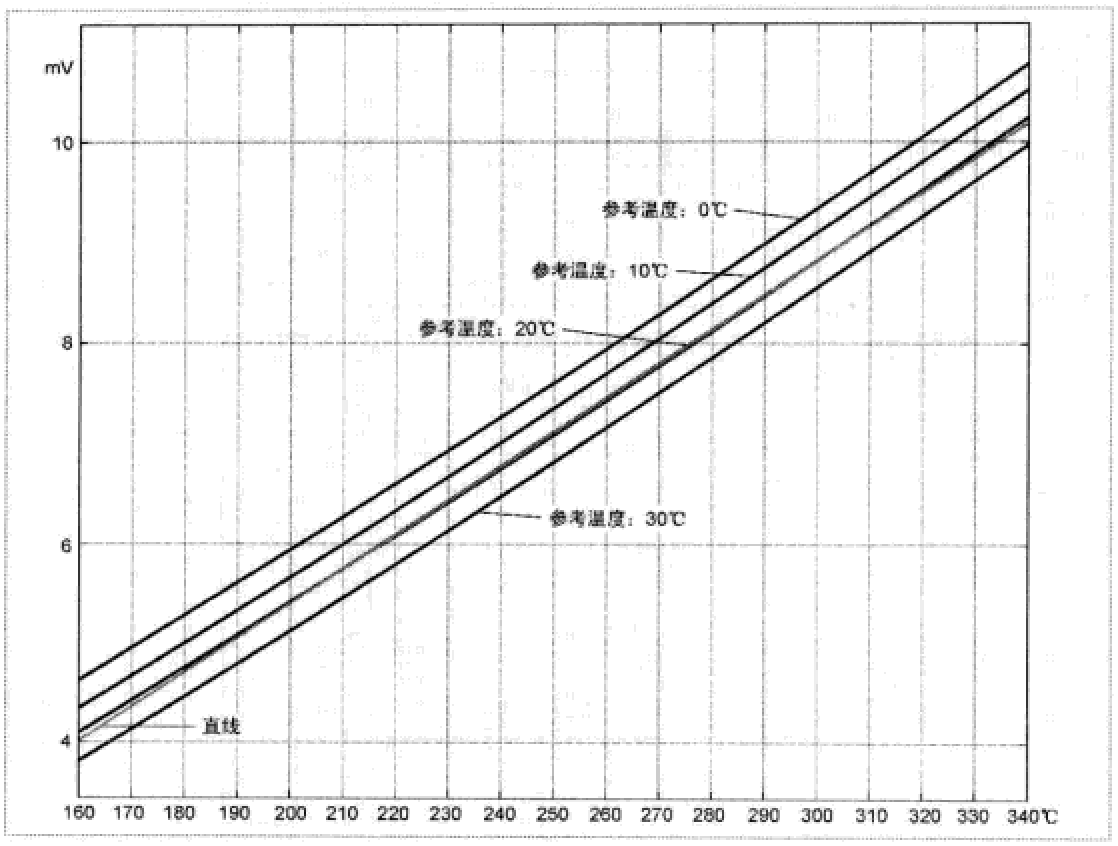


图3 N型热电偶温度曲线

脚 -RG、脚 +RG 外接电阻调节，计算公式：$R_G = 100\ k\Omega/(G-1)$，电路中 $R_G = R10 = 0.68k\Omega$，$G = 148.05882$，单片机是 10 位 A/D 转换，设转换结果是 D_{at}，则 $U_t = D_{at} \times U_{ref}/2^{10}/G = D_{at} \times 3280/1024/148.05882 = 0.0216 \times D_{at}$。式中 U_{ref} 是 AD 转换参考电压，等于电源电压 3.28V。参考温度的测量用 LM75A，单片机有 I^2C 总线接口，厂家提供了 I^2C 总线函数，就不用考虑 LM75A 的时序问题，编程时直接调用函数读温度寄存器即可得到温度数据。经实际测试烙铁头输出电压略低于 N 型热电偶，经过修正，得到最终适合单片机无符号整数运算的转换公式：

$$t = (85 \times D_{at} + 76 \times T_r + 2809)/100$$

3. 温度控制

RP3是带开关的温度设定电位器，单片机P1.6检测开关状态，不用烙铁时开关断开，关断输出。使用烙铁时调节电位器，打开开关向滑动端电压变大方向调节，电压变化范围0～3.3V，对应的温度设定范围是160～340℃。每个温度测量与加热周期是100ms，有10ms是不加热的，用于测量，其余90ms根据设定温度与测量温度的差值确定加热周期，原则是测量温度小于设定10℃以上全速加热，测量温度越接近设定温度，加热周期越短，设定温度越高，加热周期也要相应变长。

三、液晶显示

液晶屏显示布局如图 4，第一行显示可调电源输出的电压、电流数值，第二行显示温度数值，第一个数值是测量温度，第二个是设定温度。对应的右上侧是电压调节电位器 RP1 的旋钮，右下侧是温度设定电位器 RP2 的旋钮。

液晶显示器VTM12232C9的显示存储器和显示点阵对应关系见图5，分

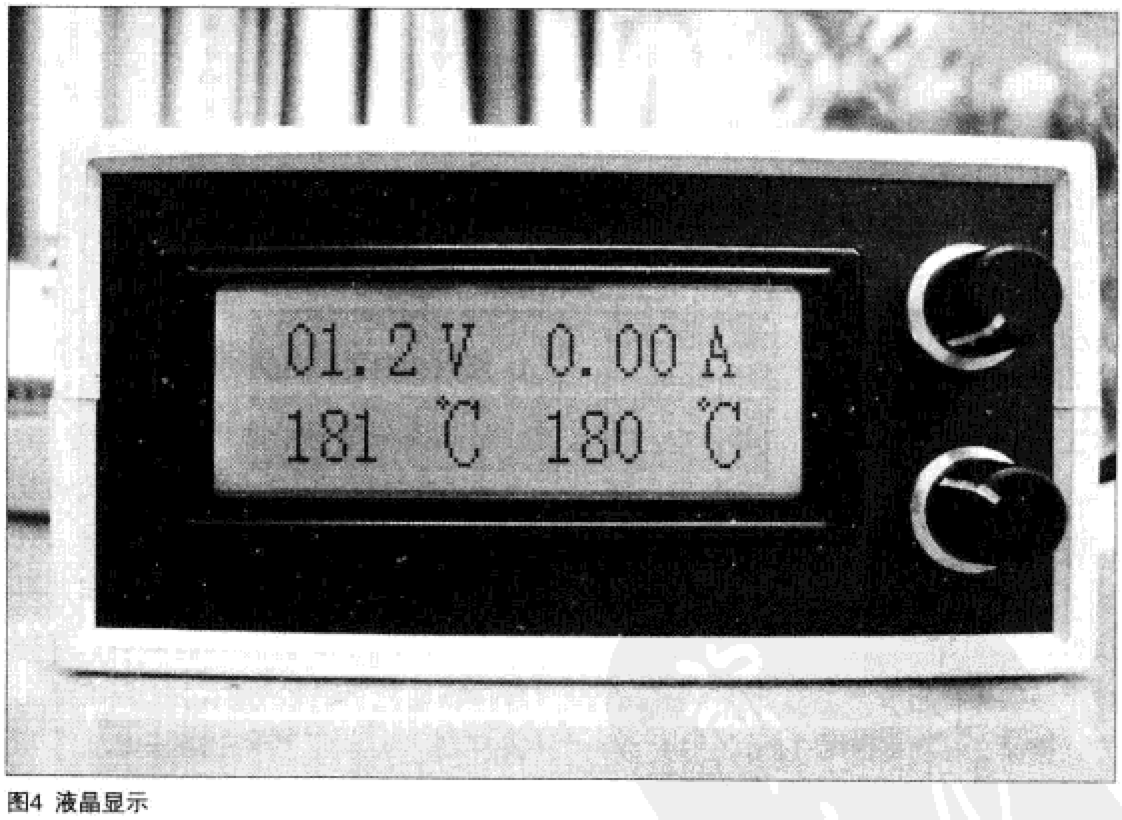
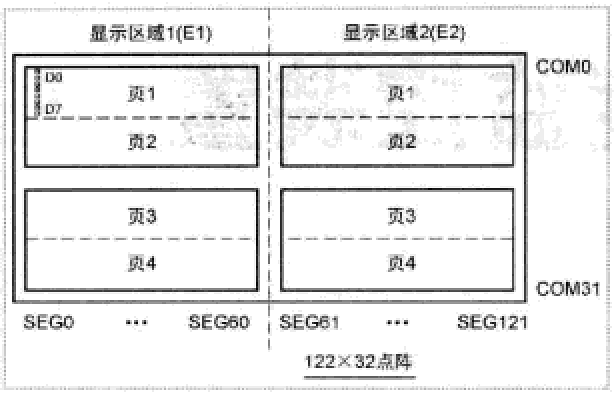


图4 液晶显示

附表 常用显示控制功能表

功能	A0	RD	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	描述
显示开/关	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1/0	DB0 0：关 1：开
设置页地址	0	1	0	1	0	1	1	1	0	页（0-3）		选择寄存器页地址
设置开始列	0	1	0	0	列地址（0-79）							选择写入数据开始列
写显示数据	1	1	0	写数据								向显示存储器写数据



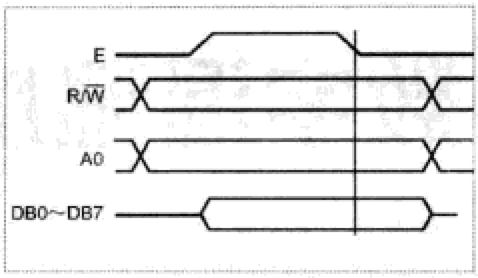


图6 显示器写数据时序

图5 显示存储器和显示点阵对应关系

2个显示区域，数据传输分别受E1、E2控制，每个区域分4页，每页61列。写显示存储器先发送命令指定页数、指定开始列数，接着发送显示数据，列数自动增加。常用显示控制功能见附表，还有一些功能不用设置，相当于选择默认设置。初始化显示器时先清空显示寄存器，再打开显示功能，程序运行时定时刷新显示数据。显示器写数据时序见图6，写顺序为：使能端E低电平，配置R/W、A0，拉高E，输出数据，拉低E，数据写入。

四、组装与调试

图7是做好的主电路板，和液晶屏的连线直接焊在单片机插座背面的对应引脚上。电源选了16V、2A的开关电源，LM317调压电路是在开关电源上改的，没有放到主电路板上，只把电流、电压信号引到主电路板采集到单片机内。图8是待安装的塑料盒。图9是完成连线的照片，电源进线、可调电源输出、电烙铁输出都是从塑料盒子后面通过插座连接的，7805稳压器加了散热片。上电调试前检查一遍接线都正确，把RP3、RP4两个电位器调到最小，防止输入到单片机的电压过高。上电后在可调电源输出端接万用表测量输出电压，调节RP3，使电压显示值和万用表一致，接着把可调电源输出经电流表接个负载电阻，调节RP4使显示电流和外接电流表显示一致，调试完成。图10是装配完成后的样子。

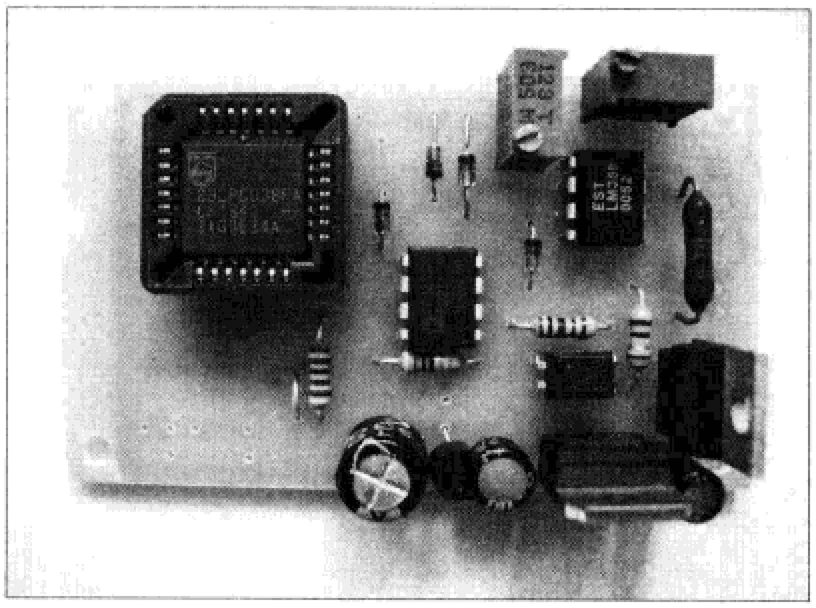


图7 主电路板

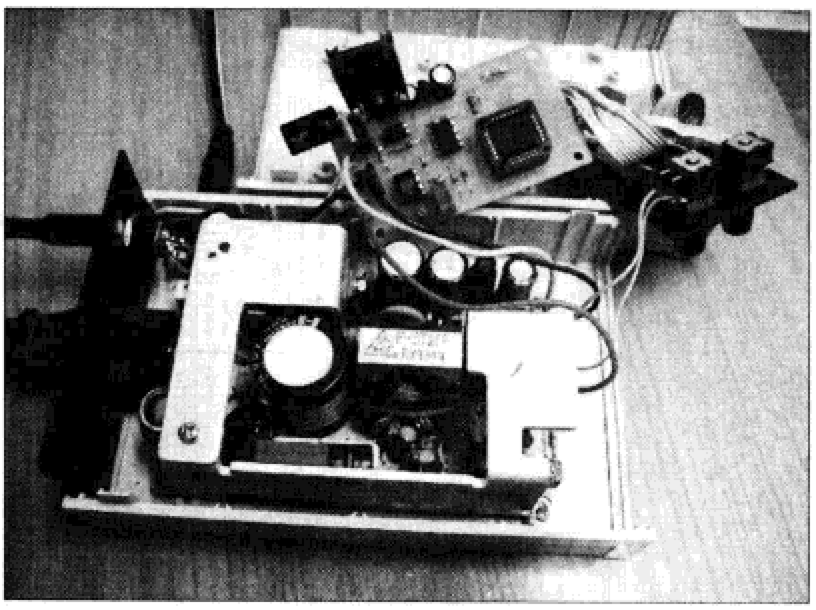


图8 塑料盒的安装

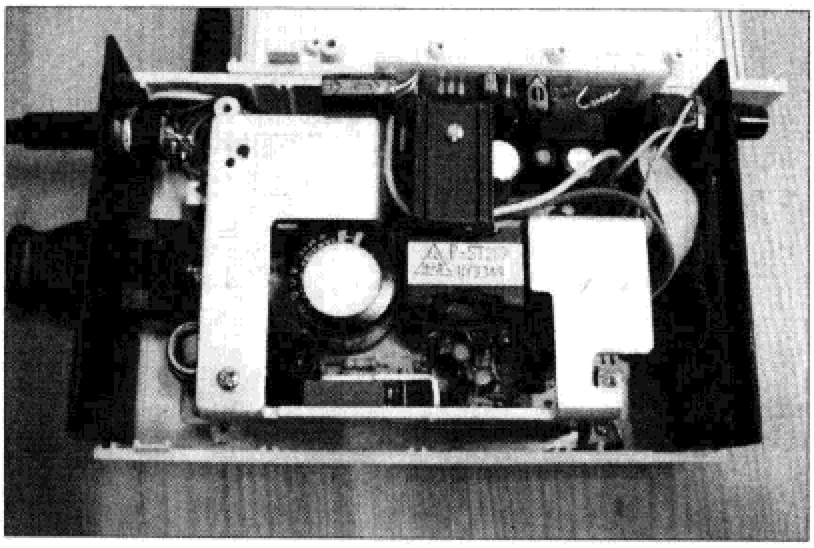


图9 连接好的电路板

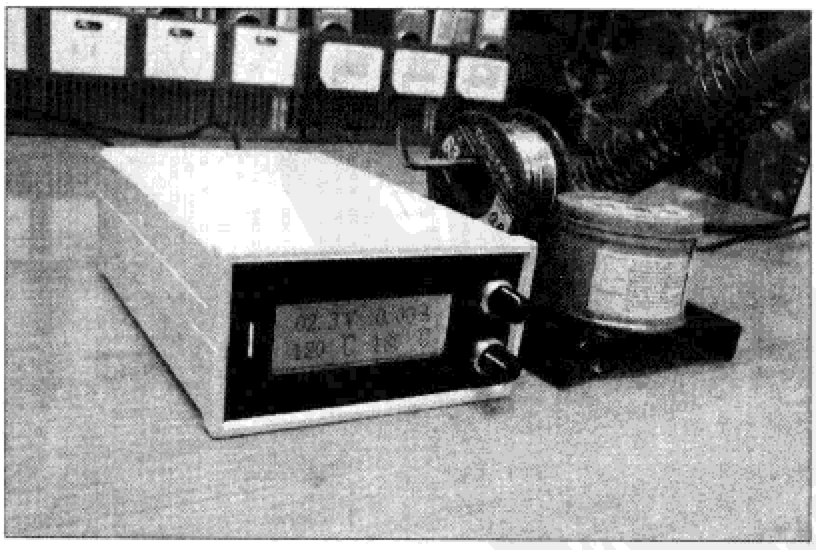
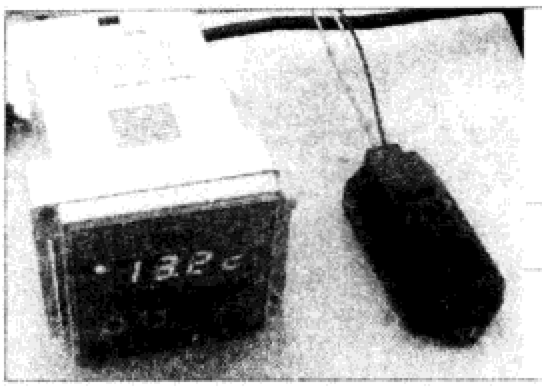


图10 装配完成图



数字温湿度监控装置

◎张春峰　徐金定

温度湿度的检测、温度湿度的监控在现代生活、生产中已是比较常见的。有的家庭里备有温湿度计，在工业设备中如电力设备的环网柜、控制柜等更是配备有温湿度的监控装置……数字化的温湿度装置能使检测精度更高、控制精度更好。尤其是像雏鸡、雏鸭等的孵化设备中，最好就是用高精度的数字化温湿度监控系统。本文将介绍一种结构简洁，温度的分辨率为0.1℃，湿度的分辨率为0.1%RH的数字化温湿度监控装置。

电路结构

数字化温湿度监控装置主要由电源电路、MCU主控电路、显示电路、键盘输入电路及传感检测电路等几个部分构成，见图1。

电源电路中，变压器T、桥堆UR、电容C3、C4等组成了降压、整流、滤波电路，提供约12V的直流电源，再经稳压器L7805及SPX1117后分别输出5V、3.3V的稳压电源供其他电路使用。

MCU主控电路中，MCU单片机P89LPC915是控制核心，达林顿阵列ULN2003为输出驱动，继电器K1、K2作控制输出用。其中，单片机P89LPC915是一款低成本的14脚单片微控制器，内部集成了许多系统级的功能，自带A/D及D/A转换机制。它的

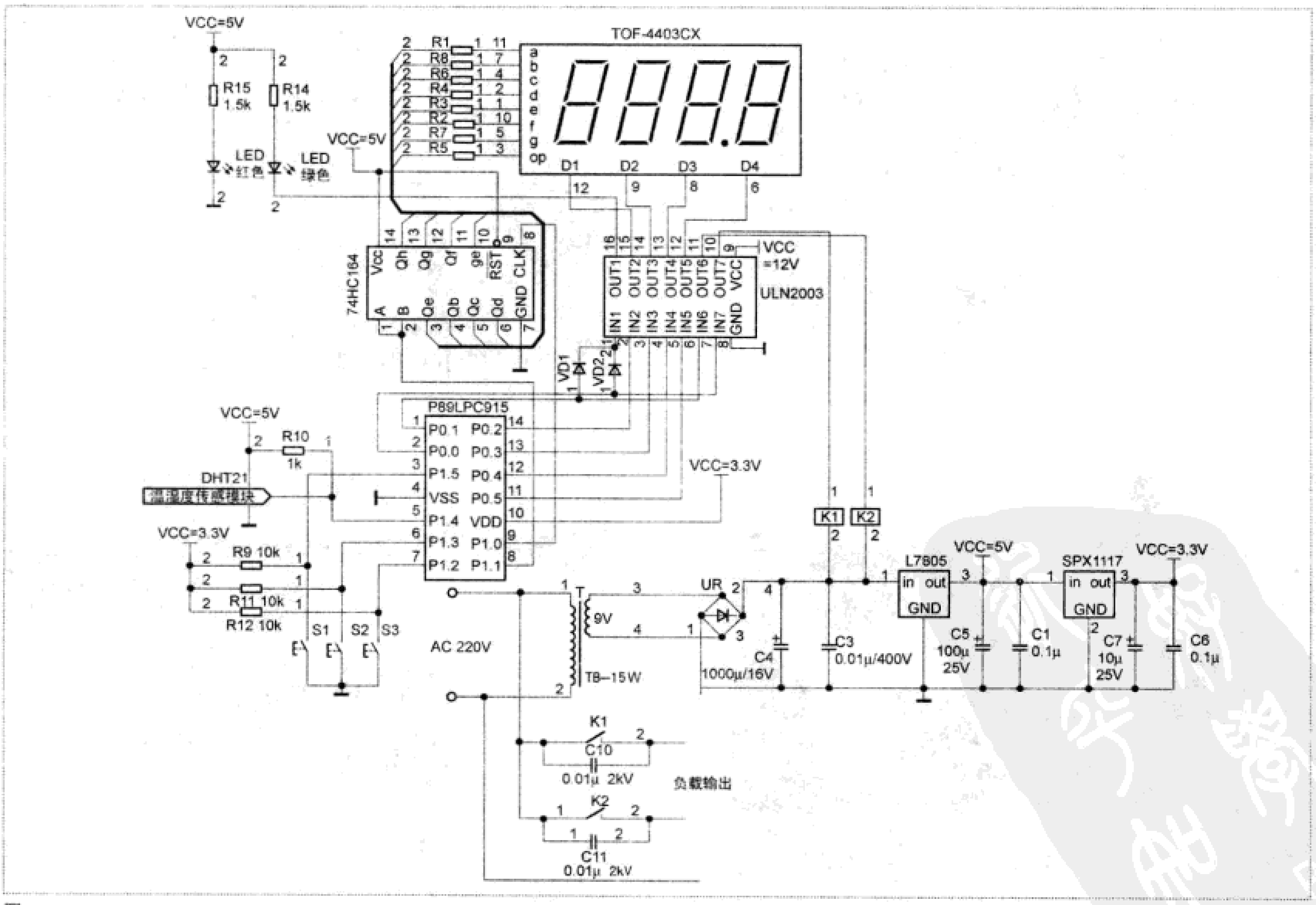


图1

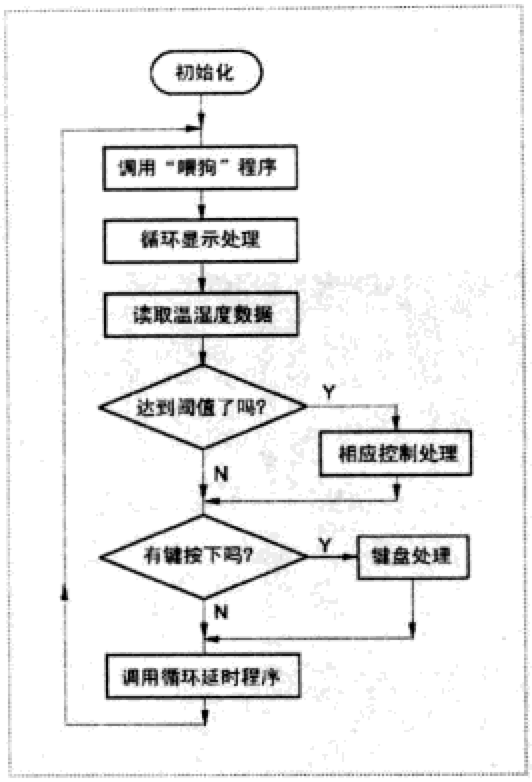


图2

可擦除的Flash程序存储器也可作数据存储器用——即可以在运行过程的中途将相关数据或人为设置的数据保存到Flash程序存储器中，与源程序的编程一样掉电之后不会丢失，这一功能是其他单片机所少有的。

显示电路中，TOF-4403CX为4位共阴LED数码显示器，串入并出移位寄存器74HC164作为扩展口为显示器提供段码，达林顿阵列ULN2003的部分用以显示器位码的驱动。

键盘输入电路则由3个按钮及相应的上拉电阻构成。S1作功能切换用，S2有两重功能，一方面用作手动控制，另一方面在调整数据时作移位用，S3也有两重功能，一方面用作温度或湿度显示的切换，另一方面在调整数据时用来调整数据。

传感检测电路主要是一个含有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器模块DHT21。它与单片机直接连接，以单总线的方式与单片机进行通信——读取温湿度数据。其数据总共是40bit，具体格式如下:

40bit数据=16bit湿度数据+16bit温度数据+8bit校验和。

工作原理

由图1可知，整个电路是以单片机P89LPC915为核心展开的。单片机P89LPC915以单总线的方式与温湿度复合传感器模块DHT21连接来读取模块DHT21中的数据，经运算处理后将温度和湿度的数据各自寄存于相应的缓冲器中，一边传送去作即时的数字显示，一边与所预先设置的启控数据一个一个的进行比较——是否到达或超过预置启控的温湿度上下限阈值：若是则从P89LPC915的端口P0.0、P0.1输出相应的控制信号，通过ULN2003的驱动控制继电器K1、K2的开或关，进而控制加热、加湿机制运转的启停，以达到温湿度的定量控制，尤其是恒温恒湿等控制的目的。否则，就不作任何动作。

数字显示的段码是通过P89LPC915中的增强型UART串行口传送给串入并出移位寄存器74HC164，再加到LED数码显示器的各段码端的。4个位码则由单片机P89LPC915直接输出，通过ULN2003来驱动数码管的位码端，进行逐位扫描显示。

电路中，温湿度上下限启控阈值的设定是通过3个按钮来实现。平时装置是处于即时温度或湿度显示的状态，S1作为功能切换键，按3下之后就可进入各上下限阈值的设置状态，S2平时是作为手动控制键用的，当进入上下限阈值设置状态时就作为移位键用了，可以将闪烁着的欲设置的位移至“个位”、“十位”等，S3平时是用作温度或湿度显示的切换，当进入上下限阈值设置状态时可以将闪烁着的欲设置位的值在“0”～“9”范围内调整。也就是说，可以根据不同场合的具体情况来设置相应的温湿度上下限预置值，并被保存在P89LPC915内部的Flash存储器中，以备与读取的即时温湿度进行比较。

电路中的红色LED作电源指示，一上电就点亮，绿色的LED为工作指示灯，当K1、K2两继电器中至少一个有吸合时才点亮。

软件设计

数字化温湿度监控装置运用了性价比较高的单片微机P89LPC915，由于它集成了诸多系统级的功能，因而，在编程时相对来说可以简捷一些。程序流程如图2所示，可到《无线电》网站上下载汇编语言和C语言两种源程序。初始化部分主要是对输入、输出端口的设定，对相关的中断等特殊功能寄存器的设定，并可将设置保存的阈值数据先读出来，以备在运行过程中作比较用；循环显示的方式很多，这儿是采用了循环扫描显示的方式，读取温湿度数据是整个程序中比较啰嗦的一个环节，需要了解并熟识温湿度复合传感器模块的性能特点，最好能与有关的厂家联系，获取温湿度复合传感器模块相关的详细资料。其他的都比较简单，尤其是“喂狗”程序，因为P89LPC915内部集成了看门狗定时器(WDT)，因而“喂狗”程序更是简捷。

参考资料

电路中的单片机P89LPC915、温湿度复合传感器模块DHT21、8位串入/并出移位寄存器74HC164、达林顿阵列ULN2003等几个芯片的相关资料分别可从以下网点查阅：

www.icpdf.com/PdfView.asp?id=33388_683024

www.xsc-sensor.com/admin/uploadimages/2009153135.pdf

www.icbase.com/pdf/STM/STM28280105.pdf

www.icbase.com/pdf/AGM/AGM00090107.pdf

自制通用转速表

◎李谦祥

本文介绍一个项目开发实例，为广大单片机爱好者、特别是51单片机爱好者提供一种设计思路。本文通过介绍基于单片机AT89S52的转速表设计，使读者熟悉单片机测量频率的方法。主要内容包括：光电转速传感器工作原理、显示控制芯片CH451L的工作原理、单片机硬件电路设计、软件程序及流程图、硬件制作与调试。通过本文可以了解单片机计数器工作原理及数码管显示电路的设计方法。笔者制作的转速表见图1。

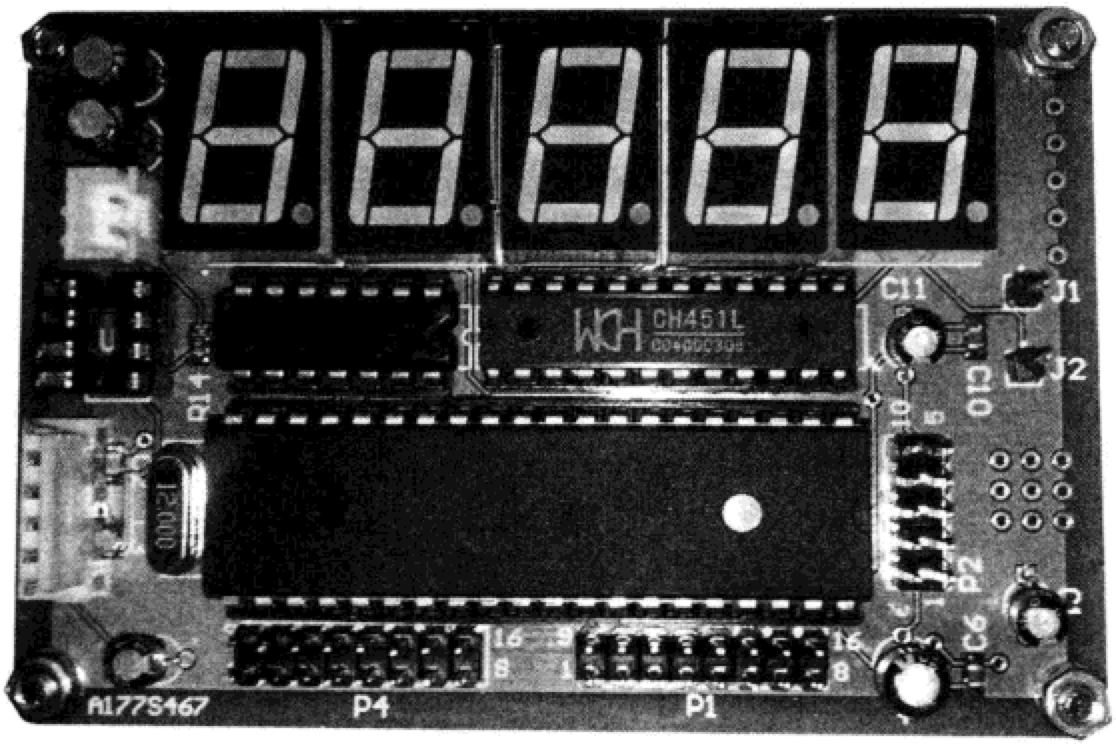


图1 电路板实物

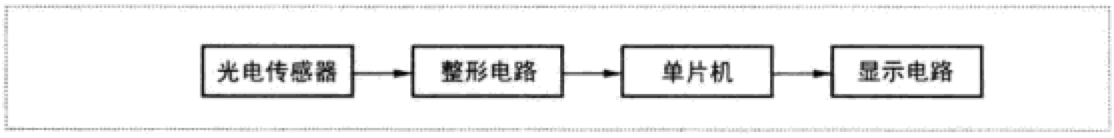


图2 系统结构

系统工作原理

系统结构如图2所示，采用光电传感器测量转速信号，光电传感器输出反映转速大小的脉冲频率信号，经过整形电路输出反映转速大小的方波周期，单片机通过测量周期计算转速，通过CH451L控制5个数码管显示转速大小。采用5V电源供电，系统的电路原理图如图3所示。

硬件电路设计

单片机采用AT89S52，它具有以下标准功能：8K字节Flash，256字节RAM，32位I/O口线，看门狗定时器，2个数据指针，3个16位定时器/计数器，1个6向量2级中断结构，全双工串行口，片内晶振及时钟电路。另外，AT89S52可降至0Hz静态逻辑操作，支持2种软件可选择节电模式。空闲模式下，CPU 停止工作，允许RAM、定时器/计数器、串口、中断继续工作。掉电保护方式下，RAM内容被保存，振荡器被冻结，单片机一切工作停止，直到下一个中断或硬件复位为止。

1. GDT-2光电传感器简介

传感器见图4，它由红外发光二极管，红外接收二极管及整形电路组成，红外发光二极管向传感器探头前方发出红外光线，红外接收二极管按照检测所接收物体反射强度，整形后输出开关量信号作为转速信号，传感器有3个接线端，分别是电源、地和信号，转速输出信号为5V方波。

传感器性能指标：供电电源5～15V，频率响应范围0~200Hz，对应转速0～12000转/分，检测距离10～30mm，工作温度0～70℃。

2. 频率脉冲的周期测量法

周期测量法的基本原理是在被测信号的周期T内，对某一基准时间进行计数，基准时间与计数值的乘积便是周期T。

图5中D触发器74LS74实现脉冲频率到周期的转换。其Q端输出作为AT89S52的INT1端输入，控制启动T/C1开始定时，对机器周期的内部脉冲进行计数。所以根据定时器/计数器的TH1和TL1的值可以计算周期，本文使用的光电传感器，应用于三相四极异步电机测速，T_s值约为40ms。单片机采用12MHz晶体，因此1μs计数加一，通过计算周期可以得到每分钟的转速。

3. 显示电路的设计

转速表显示采用5位数码管显示转速，数码管显示控制芯片选用

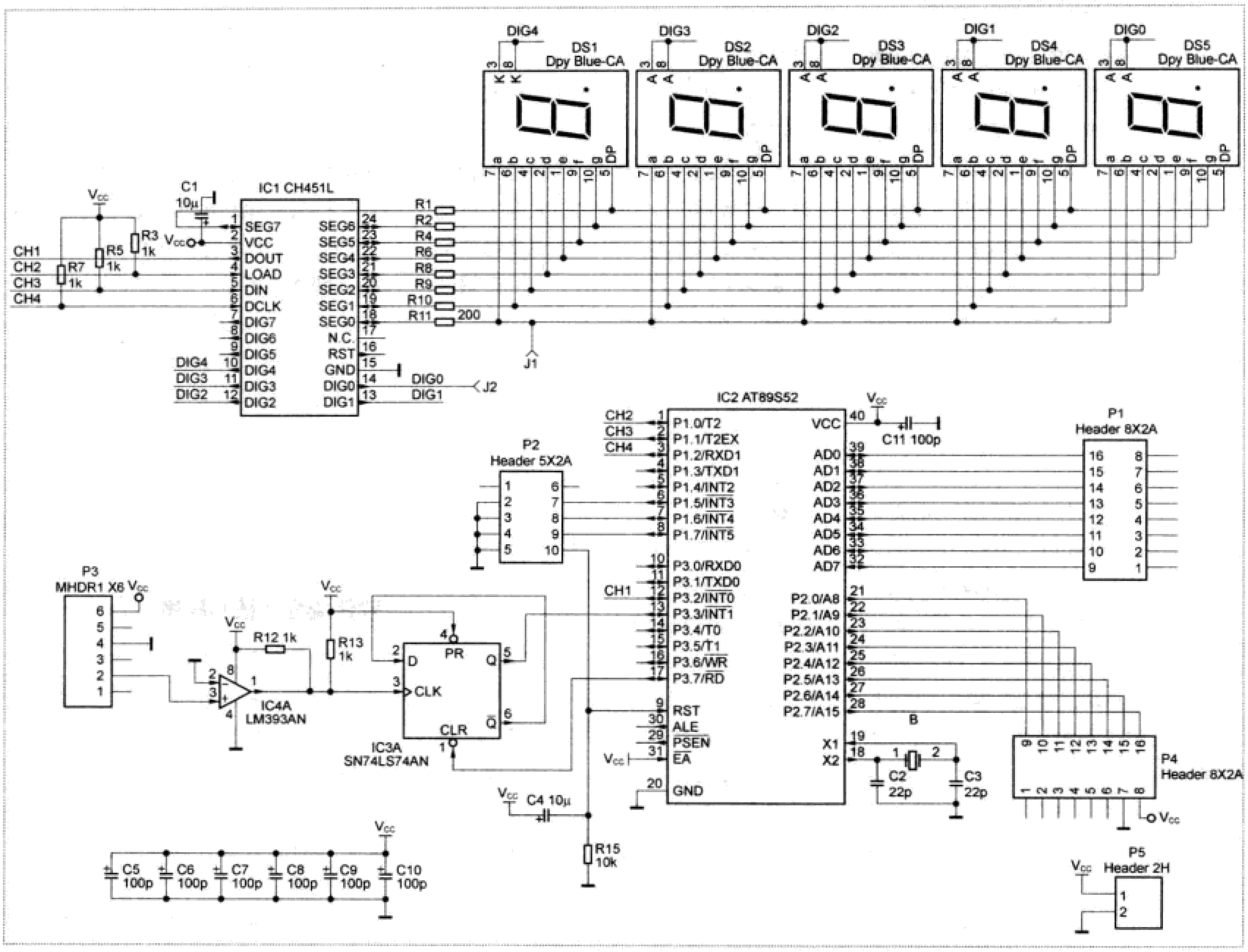


图3 电路原理

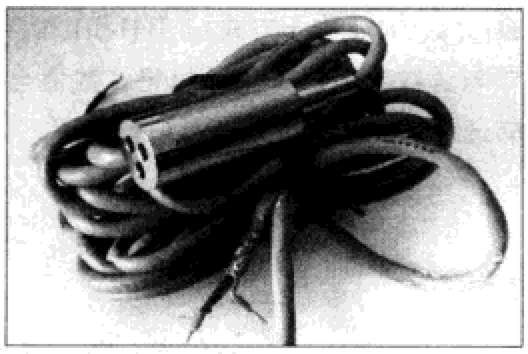


图4 光电传感器

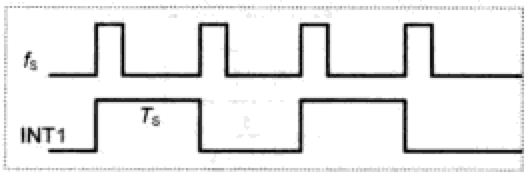


图5 整形电路

CH451L。CH451L是以硬件实现的多功能外围芯片，使用串行接口，支持显示驱动和键盘扫描以及μP监控，外围元器件极少，非常适合作为单片机的外围辅助芯片，而传统的数码管显示电路，元器件多，面积大，电路复杂，综合成本高。

CH451L仅需4线接口，节省单片机引脚资源。当不需要键盘功能时，还可以省去KEY信号线，只使用DCLK、DIN、LOAD三个信号线。DIN用于提供串行数据，高电平表示位数据1，低电平表示位数据0，串行数据输入的顺序是低位在前，高位在后。另外，在CH451L上电复位后，单片机必须在DCLK 输出串行时钟之前，先在DIN上输出一个低电平脉冲（由高电平变为低电平再恢复为高电平），通知CH451L使能4线串行接口。DCLK用于提供串行时钟，CH451L在其上升沿从DIN 输入数据，在其下降沿从DOUT输出数据。CH451L内部具有12 位移位寄存器，在DCLK的上升沿，DIN上的位数据被移入移位寄存器的最高位寄存器，以此类推，原次低位数据移入最低位寄存器，在该上升沿后的第一个下降沿，原次低位数据从DOUT输出。CH451L 允许DCLK 引脚的串行时钟频率大于10MHz，从而可以实现高速串行输入、输出。LOAD用于加载串行数据，CH451L在其上升沿加载移位寄存器中的12 位数据，作为操作命令分析并处理。也就是说，LOAD的上升沿是串行数据帧的帧完成标志，此时无论移位寄存器中的12位数据是否有效，

CH451L都会将其当作操作命令。由于CH451L只在LOAD的上升沿加载命令数据并处理，所以单片机不能将LOAD 信号线用于其他用途，但是DIN 和DCLK可以用于其他用途。当单片机I/O引脚资源紧张时，CH451L只需要独占使用LOAD信号线，DIN 和DCLK 信号线可以与其他接口电路共用。当使用键盘功能时，CH451L的DOUT引脚的KEY信号线可以连接到单片机的中断输入引脚，如果连接到普通I/O引脚，那么应该使用查询方式确定CH451L是否检测到有效按键。

CH451L具有大电流驱动能力，段电流不小于25mA，字电流不小于150mA，平均段电流是辅助单片机方案的8倍，而且非连续的电流驱动能力更高。CH451L是以硬件实现的，串行接口、显示驱动、键盘扫描、μP监控之间相互独立不受干扰，串行接口的位时钟能够支持到10MHz，数据传输速度比辅助单片机方案提高了40倍，即使主控单片机频繁操作也完全不会影响显示驱动和键盘扫描以及μP 监控。CH451L的串行接口以硬件实现，不需要时钟，而显示驱动和键盘扫描使用约0.75MHz 的全内置主时钟多次分频后的扫描时钟，所以在工业现场不易受到干扰。即使受到强干扰，也能够在干扰后立即正常工作，不会影响串行接口、显示驱动和键盘扫描的后续操作。CH451L内置振荡和上电复位以及看门狗，不但不需要外部提供时钟和外部复位输入，还能够向外部的主控单片机提供上电复位和看门狗，进一步降低了产品的成本，提供产品的可靠性。

单片机向CH451L输出串行数据的过程是：

① 输出一位数据，即向DIN输出最低位数据B0，并向DCLK输出低电平脉冲（从高电平变为低电平再恢复为高电平），其中包括一个上升沿使CH451L 输入位数据；

② 以同样的方式，输出位数据B1～B11；

③ 向LOAD 输出低电平脉冲，其中包括一个上升沿使CH451L 加载串行数据。

以 B0^B1^B2^B3^B4^B5^B6^B7^B8^B9^B10^B11^ ↑ 作为上述过程的简化描述，其中，^代表DCLK 的上升沿，↑代表LOAD 的上升沿，B0 ~ B11 分别代表1 位数据，如果是字符0或1则对应DIN 输入的位数据，如果是字符L或H则对应DOUT 输出的位数据0或1。例如，1^0^0^0^0^0^0^0^0^1^0^0^ ↑ 表示向CH451L发送了一组12 位的串行数据 001000000001B，1^1^1^0^ ↑ H^H^L^L^L^H^H^ 表示先向CH451L发送了一组4位的串行数据0111B，然后接收了一组7 位的串行数据 1100011B。在未启用键盘扫描功能时，DOUT 用于输出串行数据，移位寄存器中的最低位数据总是在DCLK的下降沿出现在DOUT 引脚。CH451L支持无限制的级联，只要3 根信号线就可以连接多个CH451L 芯片。其中，所有CH451L 的DCLK 并联后连接单片机的DCLK 输出，所有CH451L 的LOAD 并联后连接单片机的LOAD输出，后级CH451L 的DIN 连接前级CH451L 的DOUT 输出，最前级CH451L 的DIN连接单片机的DIN 输出。级联电路中，单片机每次输出的串行数据必须是单个CH451L 的串行数据的位数乘以级联的级数。例如，CH451L 的串行数据是12位，如果3个CH451L 进行级联，则单片机每次输出的数据位数必须是36位，依次是后级CH451L 的命令数据、中级CH451L 的命令数据、前级CH451L 的命令数据。未启用键盘扫描功能时向CH451L 发送12位数据的波形如图6所示。

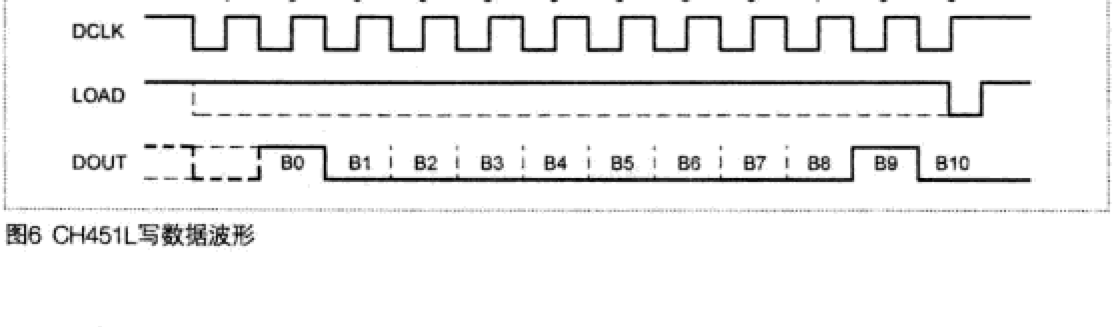


图6 CH451L写数据波形

软件流程及核心程序

软件采用C语言编写，主要包括单片机的定时器/计数器1对脉冲频率的测量，单片机通过串行接口写CH451L显示转速的过程。

首先，单片机对CH451L的控制寄存器进行设置，比如显示亮度，驱动数码管的个数，是否移位或闪烁控制，这些设置通过向CH451L写命令实现的，软件流程如图7所示。脉宽测量通过设定单片机的TMOD寄存器使定时器/计数器1工作于方式1，TH1和TL1均参与计数。最后，单片机将计数值与转速进行换算通过CH451L进行显示。

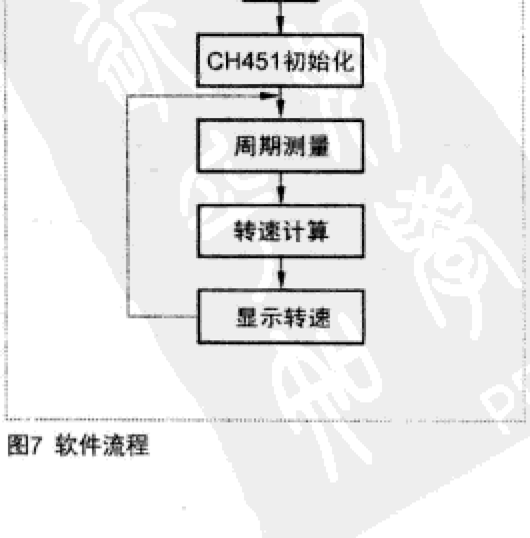


图7 软件流程

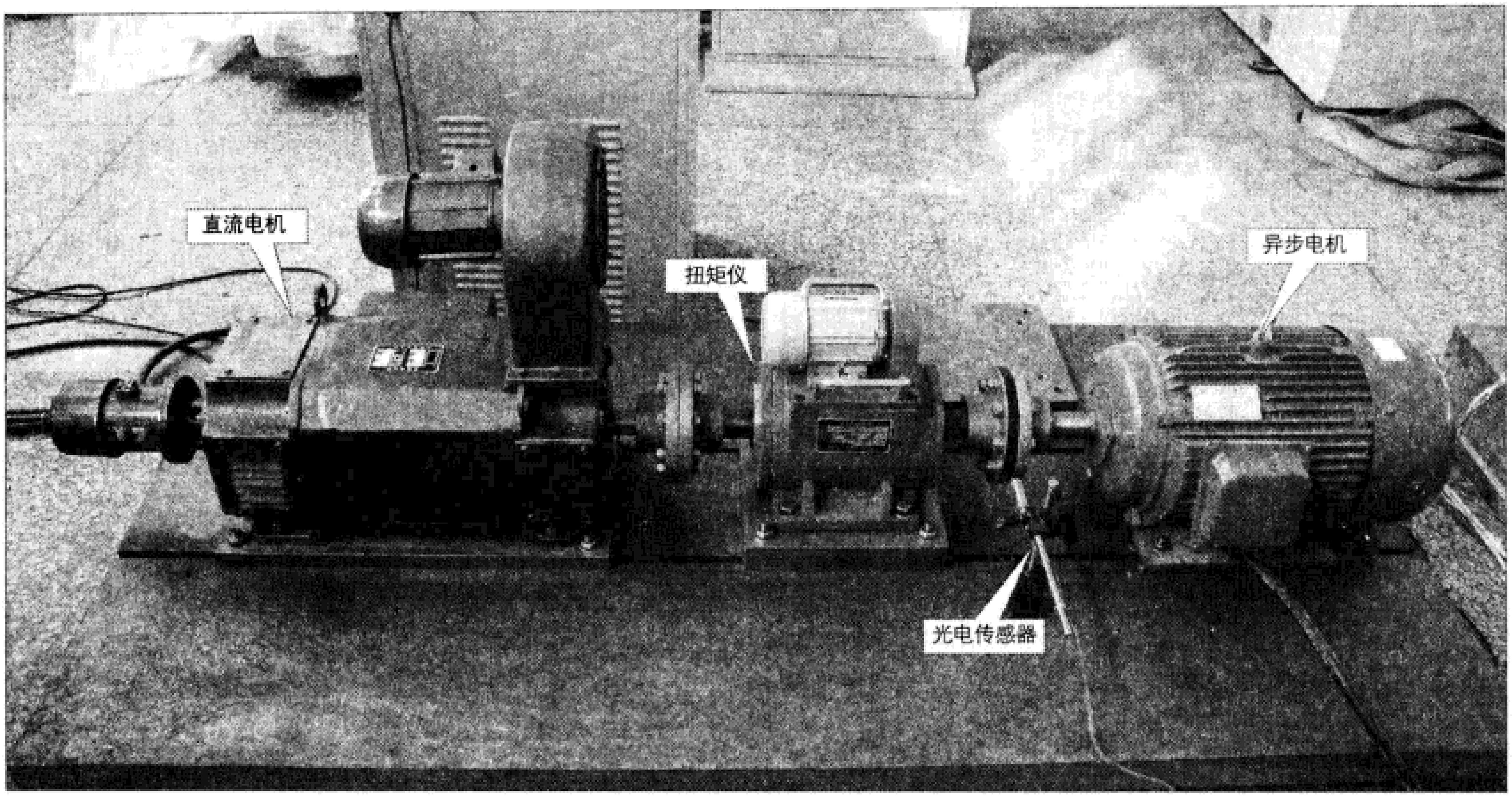


图8 转速测量现场

核心程序：

```
void ch451_write(unsigned int command)
{
  unsigned char i;
  ch451_load=0;
  for(i=0;i<12;i++){
   ch451_din=command&1;
   ch451_dclk=0;
   command>>=1;
   ch451_dclk=1;
  }
  ch451_load=1;
}
main()
{
   ch451_init();
   ch451_write(0x401);
   ch451_write(0x5D0);
   ch451_write(0x600);
   delay();
   TMOD=0x90;
   TL1=0x00;TH1=0x00; // 装入初值
   do{}while(P3_3==1);//等待INT1变低
   TR1=1;          //启动计数器
   while(P3_3==0);   //等待INT1变高，即脉冲上升沿
   while(P3_3==1);   //等待INT1变低，即脉冲下降沿
   TR1=0;          //停止计数
   i=TH1;
   n=i*256+TL1;
}
```

硬件电路制作与调试

图1所示的实际的电路板采用双层电路板，为减小电路板面积，电阻和退耦电容采用贴片封装，焊接时应首先焊接贴片元件，然后焊接直插元件。焊接完成之后应用万用表测量电源与地线，检查是否有短路故障。电路板先上电，然后，连接ISP下载线，P2的10针插口是AT89S52的程序ISP下载接口，程序下载后5个数码管显示全为零。光电传感器的输出端连接到电路板左下方的六针插座即可。电机启动即可通过数码管显示转速。图8为测量现场，电机试验台由异步电机通过扭矩仪拖动直流电机组成。测试过程如下：

首先，将光电传感器的探头对准联轴器上的反光纸，然后把转速传感器通过航空插头连接到转速表，此时有一个发光二极管点亮。当转轴旋转一次，发光二极管闪烁一次，代表一次转速信号，同时输出一个脉冲进入单片机。测试时，先开启异步电机，然后通过励磁装置给直流电机增加负载，可以看到转速表显示由空载的1500转/分逐渐降低。

基于AT89S52与CH451L的转速表结构简单、性能可靠、制作成本低廉。主要应用于三相异步电动机的转速测量，采用5V单电源供电，转速测量范围为0～10000r/min，精度可达0.1%，CH451L与单片机结合还可以应用到更广泛的数码管显示应用领域中。

用单片机制作新型数字仪表

◎史振道

SK-1A型通用智能仪表的扩展应用

上期介绍“开心农场偷菜钟”的文章刊出后，收到大量读者来函来电。反映较多的是：读者在装配时不是“一焊即得”，而是稍有差错就造成仪表电源不通。仪表和开发板自然不能配套使用。这种情况虽是初学时遇到的正常现象，但毕竟会影响学习和使用。

为此特推出实战型学习/开发板，自成独立系统，配有显示器和开关电源。主板CPU采用AT89C2051，在一般产品开发中优势明显。板内配置有蜂鸣器、继电器、18B20温度传感器。8+4路LED发光二极管，供演练端口输出之用。国际流行时钟芯片DS1302，可做各种时间类实验。24C02可做数字存储。现实中绝大多数工程设计并不需要很多口线，用该单片机已能胜任。如遇有需要口线较多的设计，本产品配有40针扩展板，将其插入主机内，即可适用于40针类的单片机了。

开发板的串口输出能力经过提升，可驱动外部上百位的LED显示单元。并口输出能力扩展为功率输出型。即4路端口为2A/路，8路端口为0.5A/路，这些为设计和使用都提供了优越条件。

随开发板赠送SK-1A型智能仪表套件。供学习者作为参照，以便尽快掌握复杂的编程及数字产品设计技巧。4键式无线遥控器是傻瓜式运作。即既不改编程、又不改硬件。将接收头焊在调节板上，同时适用于仪表和开发板，也适用于本开发板制作的产品。

用开发板制作LED动感招牌

2051芯片与C51相比，删除了P0和P2口，使PCB更加小巧简洁。每个口的吸入电流从C51的4mA增加到20mA。这些特点使之特别适用于一般口线不多的产品开发。2051上运行正常的程序，可直接拷到C51上运行或相反。因此，二者在功能上是互通的。

学习板的两路并口输出端口，通过74HC244将驱动能力加强，可驱动外路的功率器件。流水灯、跳灯之类的实验用途广泛，在学习板上做过流水灯实验后，可轻松设计出动感电子招牌来。本实验看似简单，也能应用到大项目上。某研究院研发的国家级项目，需将部分效果用LED灯光演示，要求将LED彩色灯带置入φ8mm内空的透明异形管内，变向、变色、变速模拟流动，能数字化调控并接受上位机指令。为防止在演示时出错，灯光为双系统。本定单不远千里交由我方完成，而其核心技术，就是这个实验。因本开发板具有功率输出口，用来制作LED动感招牌非常简单，只需将招牌做好与之对接即可。用本开发板制作的LED动感招牌，如图2所示。

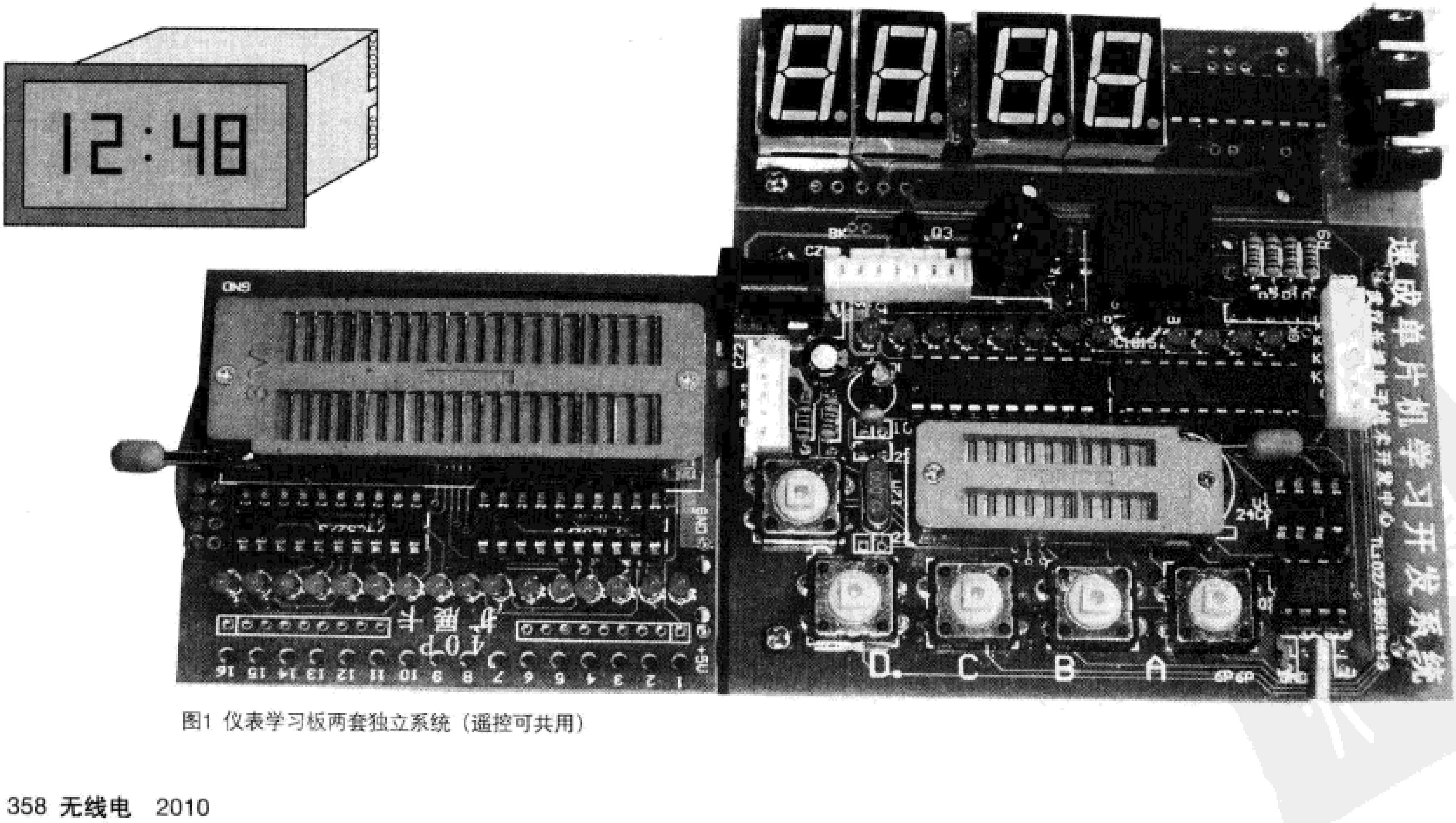


图1 仪表学习板两套独立系统（遥控可共用）

用开发板制作个性万年历

本系统采用了时钟专用芯片DS1302。它的基本功能是，通电启动后开始走时，自动将走时的数据依次送入专用的数据存储单元，即秒、分、时、周、日、月、年各项数据。通电时给锂电池涓流充电，系统停电后，自动切换至锂电池，继续走时。单片机只要依次取出相关时间数据，存于自身指定的RAM存储单元并加以译码显示，就显示出数字万年历的各项数据。学习板上还备有18B20，经编程后随时读取其A/D转换后的数据，就能显示出温度。

用开发板可以设计出多种版本的万年历，流程图见图3。外形见图4，其中日期为1.5英寸LED（44mm），温度为0.8英寸LED（28mm），其余为1英寸LED（34mm），经合理布局后的版面数字大小适度且错落有致，发光明亮柔和。读者可制作出镀金、烤漆等艺术边框，或配上纪念照/风景画，书法作品等，个人的聪明才智可尽情展现。

介绍了以上两个实验，再来介绍怎样用本仪表开发制作市场急需的适销数字产品。

其他扩展应用

1. 大型数字挂钟

企事业单位及各种公共场所，需要8～12英寸数字挂钟，此类需求并无定型产品可供，一般都是找科技公司定制。利用本仪表作机芯，配接4位4～12英寸LED数码管，再制作一个不锈钢外框，大型电子钟即告完成，见图5。

2. 事件计时钟

监控及各种运行试验需要记录某一事件发生的时刻，这就叫事件定时。在数字挂钟的基础上，从CZ2的K5和地之间引出两根信号线，只要适时短接一下，时钟即被定时，轮流显示**时**分，■■：**秒。直到人工按动A键，时钟才继续走时，无需调校。

3. 双面便携式倒计时钟

在竞赛、演讲、答辩等场合，需要大型数字倒计时钟，以示公正，会场中双面显示更佳。利用本仪表可圆满胜任，先按B、C键设置预定时间，数字静止不动。按A键倒计时开始，按秒递减，全零时鸣笛。如需反复计时，全零后按A键一次，则上次预置的数字重现。再按A键，倒计时开始。遥控操作，更加简便。

4. 大型生产看板

现代工厂车间和生产线都进行数字化管理，诸多数字需实时显示出来。将这些与时间、数量等相关的数字制成显示屏，即通常所说的生产看板，见图6。累计计时器和事件计时器、产量计数器都可以归入生产看板之列。利用本仪表制作生产看板十分简单，只需将本仪表与大型显示器对接即可。计数器的输入探头叫传感器，常见的有机械触点式和光电式，本仪表都能很好地与之匹配。4、5、6位大型计数器本仪表均可正常对接，无需改动。当9999已满时，如再加1，即为10000，若上位有显示器，低位清零高位进一，若高位无显示器，最高位做溢出处理，低4位清零。6位显示同理。

在学习的道路上，事实上是无捷径可走的，必须打好基础、循序渐进。有了基本知识，就可以很顺利地将本仪表进行功能扩展、制作出不同用途的数字产品来。做过并口输出实验后知道了怎样让灯珠按人的意志亮灭和变换运行花样，这就为制作LED广告牌打下了软件基础。掌握了各种计时方式编程和显示方法，可以制作出不同功能的计时器。

本产品构思奇特，又以现代数字技术为主体，单看文字和图片，读者往往不能了解全貌。本中心网站上配有视频，欢迎登陆，广告信息见102页。

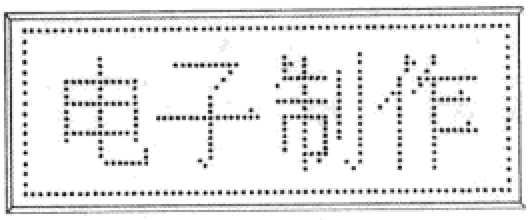


图2 用开发板制作LED动感广告牌

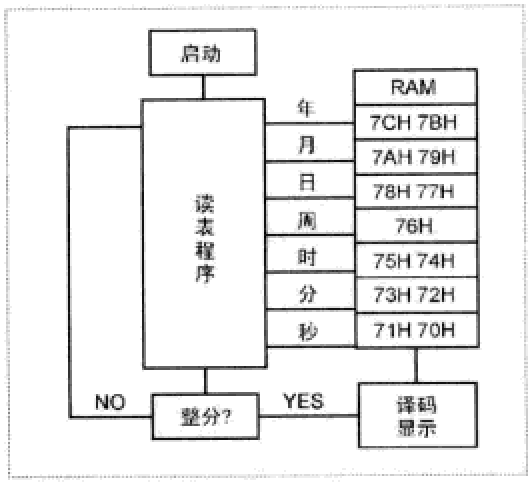


图3 万年历流程图

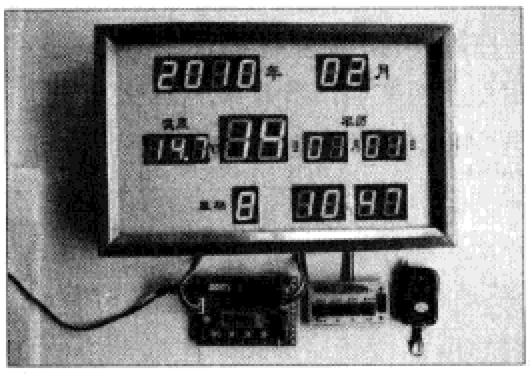


图4 用开发板设计万年历

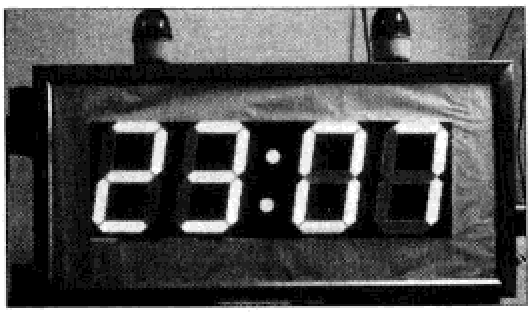


图5 大型数字钟

图6 生产看板

手把手带你做单片机控制的多通道无线遥控装置 2

◎付国迎

本刊2009年第12期介绍了多通道无线遥控装置的组装，本期再为大家介绍具体的测试和程序烧写方法。

第十六步：测试摇杆电位器

1. 取示波器一台。将X轴调到0.5ms/格，Y轴调到0.1V/格，工作状态选择为DC，同步选择为自动(AUTO)。外配10：1衰减探头，将示波器的地线与发射机的地线牢固地连接好，如图1所示。爱好者可能会说：我哪有500MHz的示波器呀？我告诉您，不用紧张，有高档仪器更好，但几百元的如20MHz示波器也可以应付一阵。

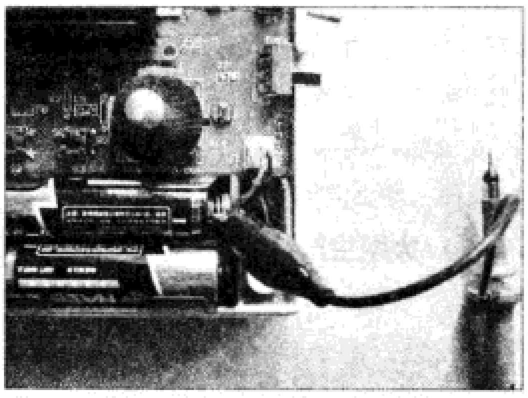


图1 示波器的地线与发射机的地线连接好

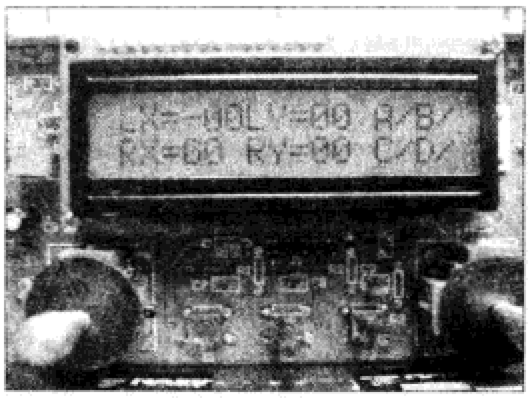


图2 发射机进入运行工作状态

2. 打开电源开关，此时发射机进入运行工作状态，屏上显示内容如图2。用示波器探头测量RP1的最下脚（如图3所示位置）时，示波器上应出现如图4所示的波形，正脉冲$V_{p\text{-}p}$应为5V，脉冲宽度约为385μs，此脉冲给发射机的摇杆电位器RP3、RP4、RP5、RP6供电，原理图见图5。MCU在读取完这4个电位器中心端的电压后，立即将U_0转变成低电平，此时$I_0=0$就不再消耗电能了。

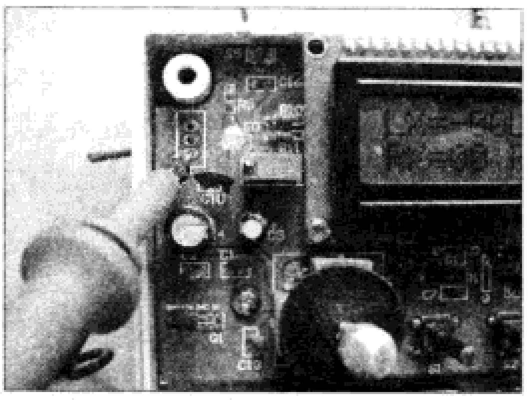


图3 测量RP1的最下脚

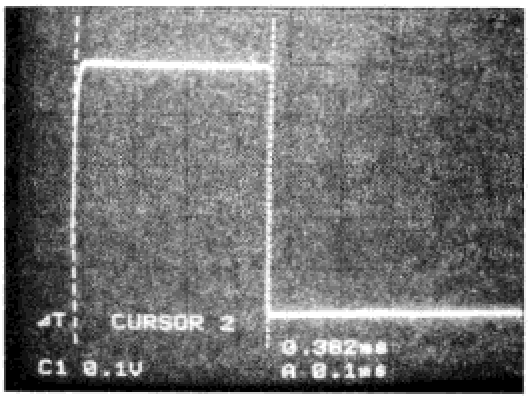


图4 RP1的最下脚波形

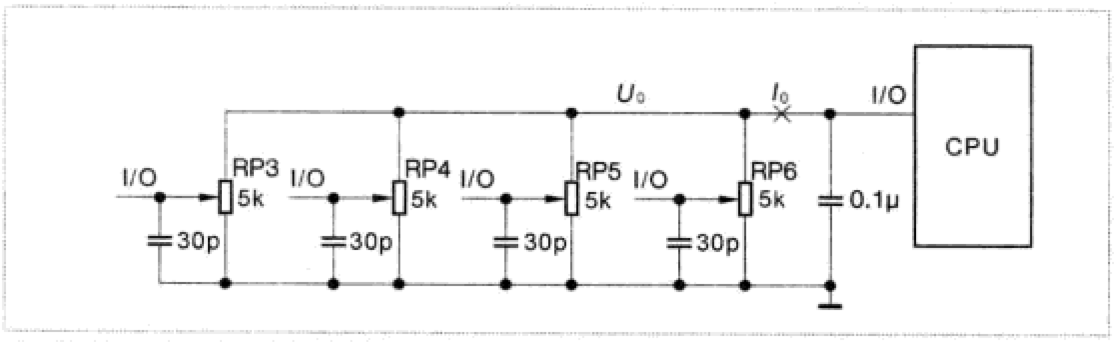


图5 发射机的摇杆电位器电路原理图

$$此时\ I_0=\frac{5\ (V)}{1/RP3+1/RP4+1/RP5+1/RP6}=\frac{5}{1250}=0.004\ (A)=4\ (mA)$$

3. 用示波器探头测量RP3的中心脚，上下缓慢推动L摇杆，可以看到示波器扫描线应随着摇杆上下均匀地线性移动，不能有毛刺和突然的跳动。当摇杆运行到二个极端位置时，扫描线应在0V或5V附近，松开摇杆后将自行回中，扫描线在2.5V的位置。RP4、RP5、RP6也按上述方法分别测量一次，确保工作无误。

4. 如果扫描线在某一电压范围段有抖动或毛刺出现，说明这个轴的取样电位器有问题，要更换下来，换上新的再测。否则在操作飞机模型时会引起对应的舵面抖动，轻则损坏舵机，重则会发生失控损坏模型。

第十七步：测试低电压停机功能

取一台可调直流稳压电源，去掉发射机电池仓内的电池，将电源正负极正确地夹牢在电池组引出线焊片上，并将电压调整到12V后打开发射机电源，第一屏产品型号显示过后，第二屏的右上角会出现12V的字样，这即是显示电源电压，如图6所示。再将电

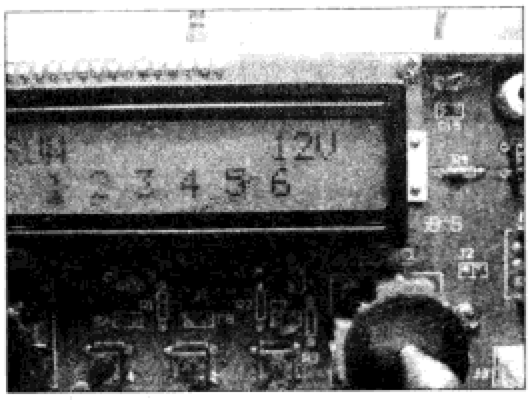


图6 显示电源电压

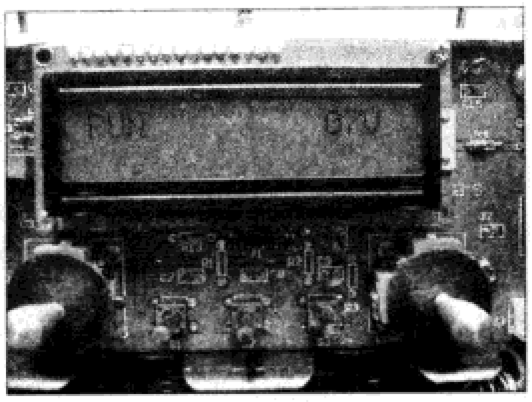


图7 电源电压调至7.5V 显示为7V

源电压调至7.5V以下，重新开机对应显示为7V，如图7所示，并且峰鸣器会一直鸣响，此时按下最左键也不会进到运行状态。因为在工作时RF的发射功率会随着电源电压下降而减小，从而引起控制距离减小，所以本机设有开机检查电源电压在8V以下时强行关断发射功能，以防止飞机模型升空后失控。

第十八步：有关程序烧写

无线电爱好者购得的发射机散件中 MCU 已烧写好了程序，但读者如何将自己编写的个性程序烧写到单片机内呢？本遥控装置的 MCU 有二种，一种是使用美国微芯的 PIC16F73 芯片，另一种是宏晶的 STC12C5202AD，它们都支持 ICSP/ISP 在线编程，在 PCB 板上均留出了烧写端口。下面介绍具体烧写过程：

1. 美国微芯的PIC16F73芯片烧写过程

主板MCU为PIC16F73的烧写端口定义见图8，它必须要用ICD2编程器经USB端口和电脑连接。运行MPLAB集成开发软件，方法如下：

步骤一：点击计算机桌面的“MPLAB IDE”图标，激活该软件，该软件下会出现两个窗口见图9，直接将这两个窗口关闭即可，见图10。

步骤二：首先选择芯片型号：点击菜单 Configure 出现图 11 所示菜单，选择 Select Device 出现图 12 所示窗口，将 Device 项选择为 PIC16F73，点击 OK。

步骤三：选择烧写配置：再次点击Configure、选择Configuration Bits出现图13所示窗口，将各项配置按照图13修改后退出。

步骤四：点击View菜单中的 Program Memory选项，出现图14所示窗口，此时文件内容是空的，然后再点击File Import选项，将要烧写的文件以HEX格式导入，见图15。

步骤五：将图16所示ICD2烧写器与电脑通过USB口连接好。按照图17选择MPLAB ICD 2，再按照图18选择第2条，出现图19所示窗口，在其中点击“下一步”，直到出现图20所示窗口，点击“完成”为止。

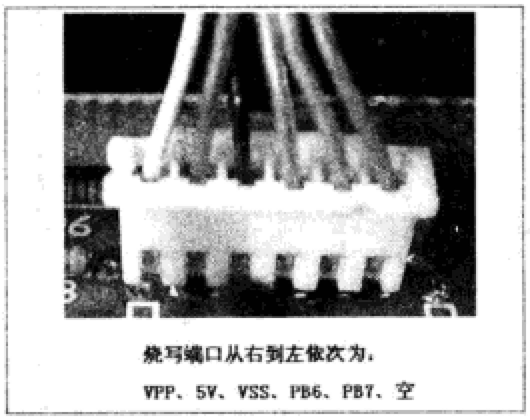


图8 烧写端口定义

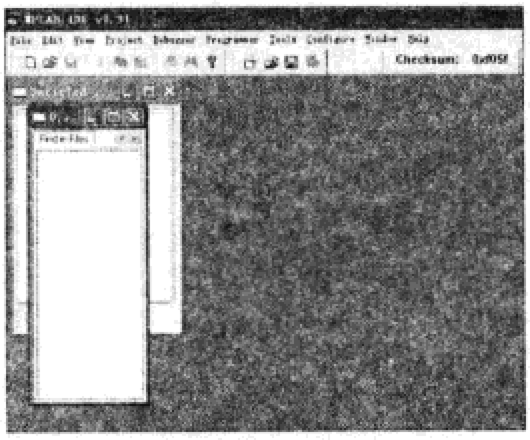


图9 MPLAB集成开发软件

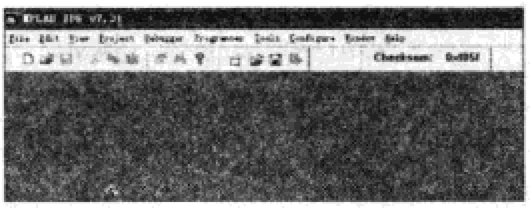


图10 关闭两个窗口

图11 点击菜单

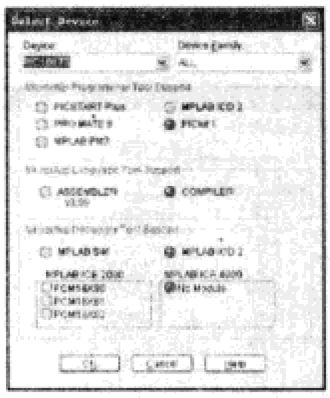


图12 选择芯片型号

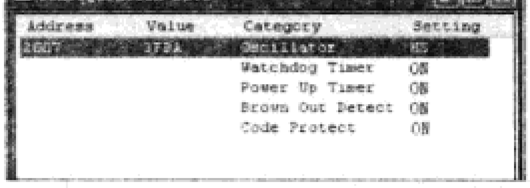


图13 烧写配置

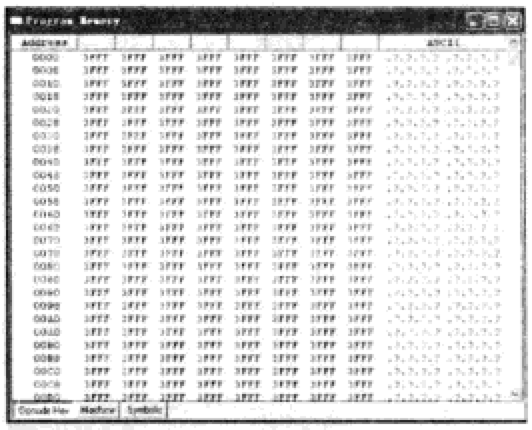


图14 烧写窗口内容为空

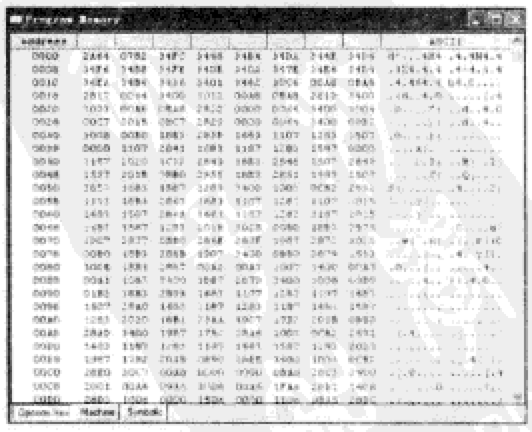


图15 已导入烧写文件

图16 ICD2烧写器

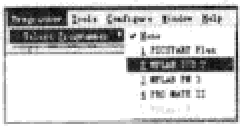


图17 烧写器与软件链接1

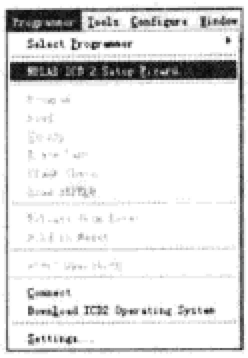


图18 烧写器与软件链接2

图19 烧写器与软件链接3

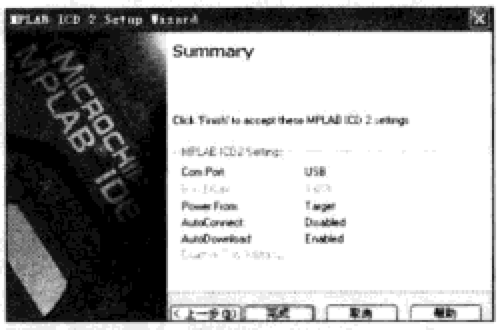


图20 烧写器与软件链接4

图21 烧写器与软件链接5

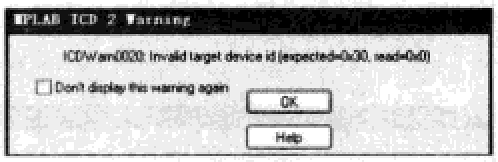


图22 烧写器与软件链接6

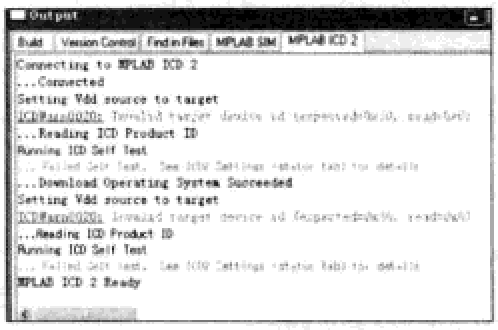


图23 烧写器与软件链接完成

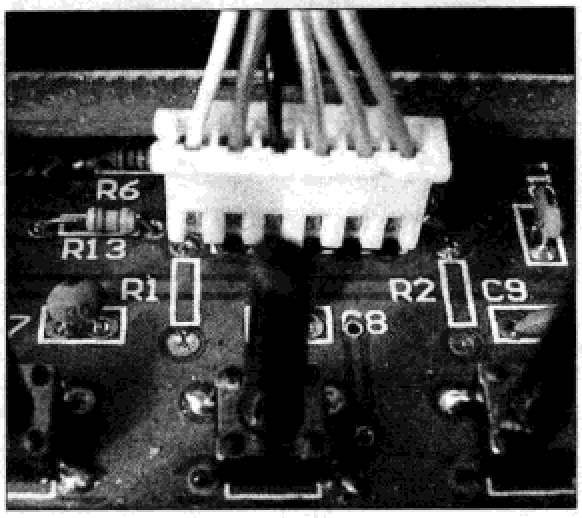


图24 烧写下载线与电路板链接

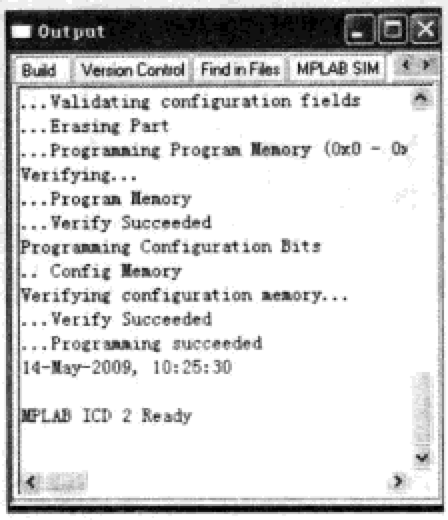


图25 程序烧写完成

图26 STC烧写软件界面

图27 装载要烧写的文件

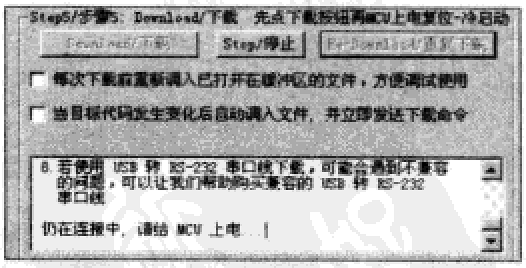


图28 软件链接成功，准备烧写

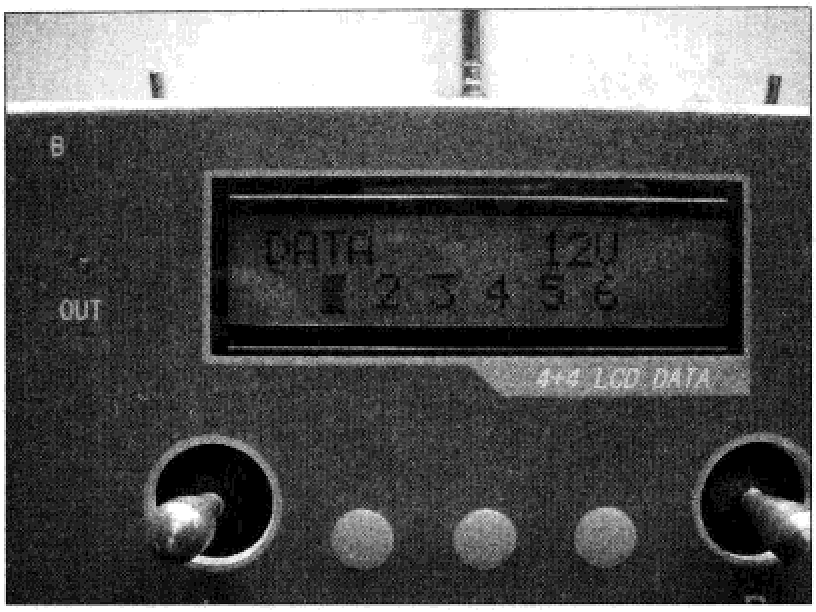


图29

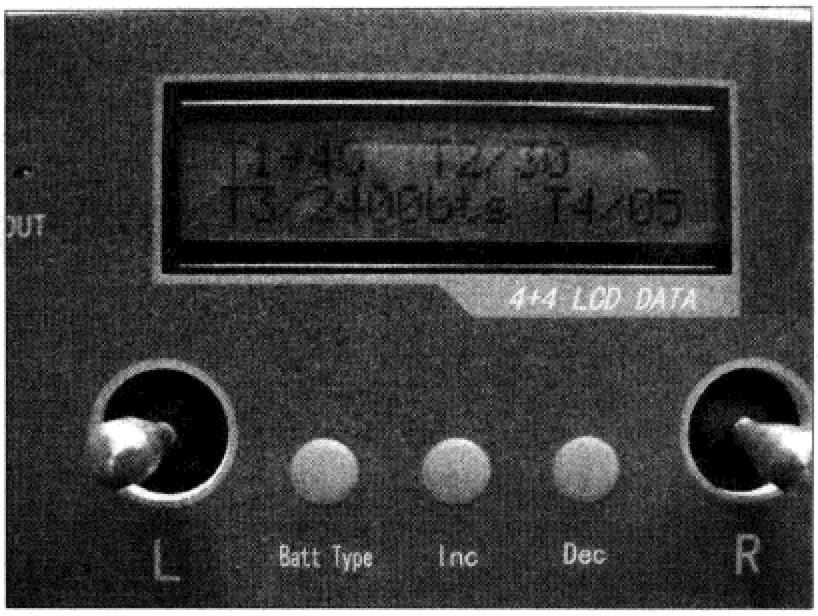


图30

步骤六：点击图18中的Download……项出现图21所示窗口，将ICD01020608.hex文件打开，等待出现图22所示窗口，然后点击“OK”。

步骤七：点击图18中的Connect项出现图23所示窗口，说明ICD2连接成功。

步骤八：将ICD2上的烧写下载线按照图24所示插在电路板上，将蓝色线烧写针右脚对齐，打开电源开关，点击图18中的Program，程序开始烧写，直到出现图25所示窗口，说明烧写完成。

步骤九：关闭电源，拔下板上的烧写下载线，然后再打开电源，就可以看到发射机OUT输出指示灯闪亮了。

2. 宏晶的芯片烧写

主板MCU为STC12C5202AD芯片，它烧写芯片前必须用一条配套的下载线与电脑的RS232（即COM口）连接，运行STC-ISP-软件，具体操作方法如下：

步骤一：双击图标，进入如图26所示界面。

步骤二：芯片选择：MCU Type：STC12C5202AD

步骤三：装载程序：点击“打开程序文件”，出现图27所示界面，打开目标盘，找到欲烧写的*.hex文件，这时文件就被装载到程序装载区了。

步骤四：点击“Download/下载”，直至界面的左下脚空白处出现图28所示信息“仍在连接中，请给MCU上电”，此时打开发射机电源开关，程序开始写入芯片，最后左下对话框出现以下五句话，说明程序写入完毕。

Program OK/下载 OK

Verify OK/校验 OK

Erase times/ 擦除时间：00：02

Program times/下载时间：00：02

Encrypt OK/已加密

第十九步：参数设定

1. 按住左按键（Batt Type）后，再打开电源开关，待蜂鸣器嘀声响过三次之后放开左按键，此时，遥控装置进入参数设定状态，屏上显示如图29所示，共有6个互相独立的程式供选择，以修改设定1号为例，其他号码操作均相同。

按IncDEC键选择到1号闪动。按下Batt键后，屏上显示如图30所示。

2. 箭头指向为可修改值，可用IncDEC键进行修改，其中T1、T2分别为发送RF文件中的头1、头2地址文件，当目标接收板的二个头地址均符合时，才视为合法文件予以接收，做出相应的响应，否则为不响应。RF发出的文件顺序及定义见图31（注：为16进制值）。

T1的值定义域为D0~D9，T2的值定义域为C0~C9，这时设置T1=D0，T2=C0，当然日后配套的无线接收器的头地址号一定要是DOCOH（十进制为53440）。当配套的无线接收器变化时，这二个值必须相应变动。在正常工作时，RF发出的数据中除T1、T2的值是在上述定义域，其他数值在任何状态下永远不会相重，以防止解码失误的现象出现。

3. T3设定为2400，本遥控装置的RF空中发码的速率有4种选择：2400、4800、9600、19200bit/s。

下期连载将详细介绍发射机与接收机连通过程中的调试。

图31

通用控制器的左膀右臂

——通用控制器的应用及外围器件

◎钱健彪

第1期《无线电》为大家介绍了一种通用单片机控制器的制作，本文继续为各位读者介绍该通用控制器常用的一些外围感应器和执行器件，并简单介绍几例实际的应用。

家居安防

通用控制器可用在家居安防控制中，常用的外围器件如图1所示，从左到右依次为：门（窗）磁开关、双鉴探头、警号。

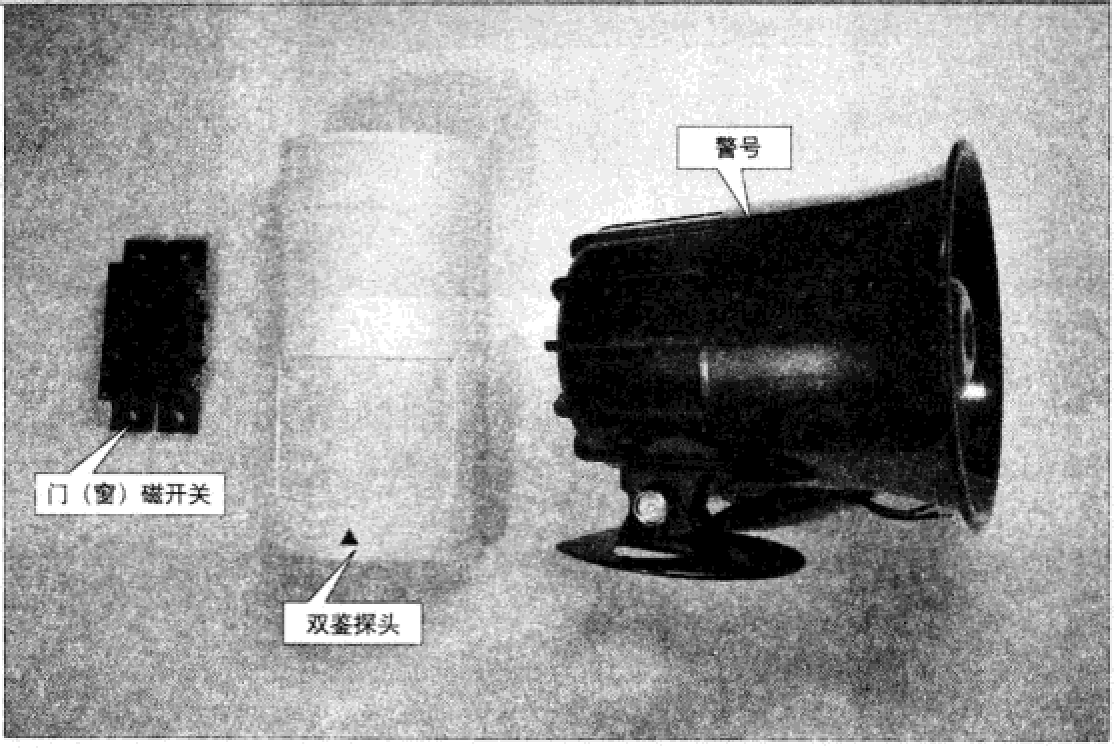


图1

1. 门（窗）磁开关

该开关是无源、无极性器件，一套分为两个半部，内部结构一半部为磁铁，另一半部为干簧管，这半部有两个引线端。两个半部并在一起时干簧管闭合，分开时干簧管断开。可将磁铁部装在门或窗户的活动部分，将干簧管部装在门或窗的固定部分，门或窗关闭时这两个半部应正好并合在一起，以保证干簧管吸合（见图2）。因为是无源器件所以在控制器中的接法就非常简单，干簧管一端接信号地端，另一端接控制器的输入端子。当门或窗被打开时干簧管断开，控制器接收到断开信号后作相应的处理。门磁开关价格便宜，一般只需几元钱，可靠性很高，是价廉物美的安防器件。

2. 双鉴探头

该探头是有源器件，一般使用DC12V电源，可检测微波和人体释放的红外线，常用于检测移动的人体，探测距离一般为数米至十数米。有些品种加入了人工智能抗干扰的功能叫三鉴探头。探头输出的是无源的触点信号，可以将其常闭端按照和门磁开关一样的方法接到控制器。当探头检测到探测区域有移动的人体时输出触点动作，控制器接收到断开信号后，作相应的处理。双鉴探头价格从数十元到三百元不等，可检测立体范围，误报率很低，所以比较常用，但其稳定性不高，需定期检查。

3. 警号

警号就是音量非常高的蜂鸣器，驱动电压一般可选DC6V、12V、24V，建议选用最常用的12V的品种。额定电流大多在500mA以下，通用控制器的输出端可直接驱动。一般为塑料外壳，有一定的防水性能。需要注意的是警号的音量很大，声音非常刺耳，切忌装在卧室，以免造成惊吓。建议装在走廊隐蔽的地方，并隐藏好连线。条件不允许的话可装于厨房、阳台等处。

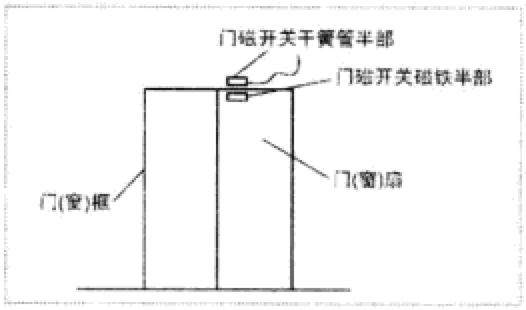


图2

4. 布防和撤防

可将住宅的区间分为不同的布防区域，可将同一区域的门磁、探头串联后接入控制器，通过控制器的按键设置哪些区域设防。撤防既可直接在控制器上操作，也可利用剩余输入口连接数个外部按键，用顺序密码的方式撤防。至于具体的设定读者可根据自己的要求和方式自行构思。

家电、照明控制

通用控制器可以对家居里的灯光

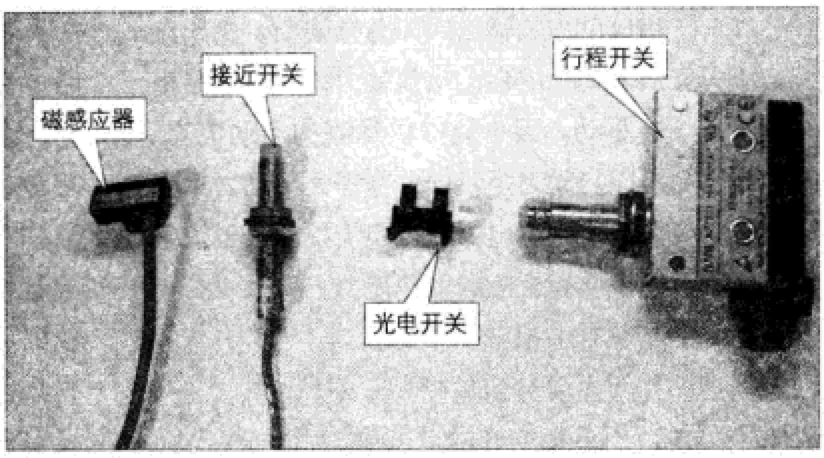


图3 感应器

照明和部分不带电子逻辑控制电路的家电（如机械旋钮式的微波炉）通过控制供电电源进行控制，如定时开关某电器或在主卧室对各房间进行中央电源控制等。对于带微控制器的家电，如电视机、智能空调等，本身就有复杂逻辑控制，通用控制器就只能对其进行断电、送电控制，而不能执行进入工作的控制。

具体的控制模式读者可根据自己所希望实现的功能自行构思。

需要注意的是，很多家电（包括节能灯）的电源部分是非线性负载的开关电路，对于通用控制器来说，不适宜使用晶闸管类的电子开关来接通、关断电源，需要使用小型继电器进行控制，否则有可能出现开关不彻底的现象。

小型自动机械控制器

小型自动机械的工作流程多种多样，但也无非是输入——逻辑判断——输出，不同的只是输入输出的类型、数量以及它们之间的逻辑关系。所以下面主要介绍常用的输入、输出外围器件及其特性和使用中的注意事项。

一、输入用的感应器

常用的器件如图3所示，从左到右依次为：磁感应器、接近开关、光电开关、行程开关。

1. 磁感应器

它是有极性的器件，有规定的电流方向。因为只有两个接线端，只需几毫安的电流就可正常工作，所以可以视为无源器件。这种感应器主要用于感应不锈钢缸体且活塞带磁性的气缸的活塞位置。使用时固定在气缸活塞行程的止点附近（见图4），当活塞运动到一端时这端的磁感应开关导通，用于检测活塞是否到位。可直接将极性正端接到通用控制器的输入端，负端接到信号地端，无需另接电源。当感应到磁性物体后，磁感应器上的发光二极管就会点亮。

2. 接近开关

是有源器件，有3根接线，两根为电源，一根为信号输出。一般能直接使用DC12～24V的电源，输出分为NPN和PNP两种，是有源输出。和通用控制器连接时，因为控制器的输入端是下拉有效的，所以应选用NPN型的，接近开关的输出直接连接控制器的输入端子。接近开关常用于检测靠近其端部的金属物体，其输出可达200mA，可直接驱动继电器。我们可以利用其检测金属体的特性来检测直线运动或旋转运动的物体位置。如图5所示，被测物体带着检测用的金属件，当金属件运动到接近开关的检测端面时，接近开关输出信号,同时接近开关上的LED点亮。在图5的检测旋转物体位置的装置中，接近开关可以稳定检测到2800转/分钟以上速度的转速，所以接近开关的动作速度完全可以满足绝大部分场合的动作、位置检测。

3. 光电开关

顾名思义，就是利用光电转换来获得开关量信号的器件。光电开关的外形结构种类很多，图3所示的是其中一种。大部分光电开关不外乎有一个发光部，一个受光部。光电开关是有源有极性器件，使用时需提供电流给发光部，使发光部发出可见或不可见的红外线。受光部一般为红外光敏的三极管（也有部分是二极管），受光部平时呈高阻，当接收到发光部的光线时会导通或变为低阻。光电开关的开关速度较高，可以用于检测较高速度的动作，但其输出信号较弱，抗干扰能力稍差。虽然光电开关对自然光不够敏感，但我还是建议避免强光直接照射到受光部，最好能做遮光处理。在通用控制器中使用光电开关时，应尽量采用输出信号稍强的光敏三极管，同时在强干扰场合应对受光部的引线做屏蔽处理，发光部的电流应控制在15～25mA，以在保证发光强度的同时又不致损坏发光管。图3中的一体式光电开关比较容易安装，只需注意运动的遮光板不要打到光电开关就可以了。对于一些必须采用分离式光电开关的场合，因为发光部和受光部彼此独立，安装时需注意发光部的光线必须正对受光部的光敏管，以提高输出信号的可靠性。

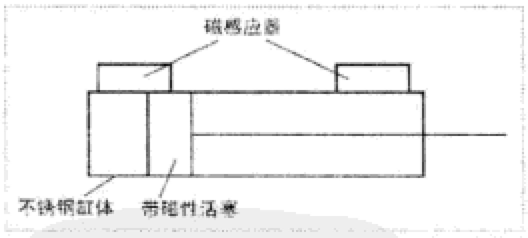


图4

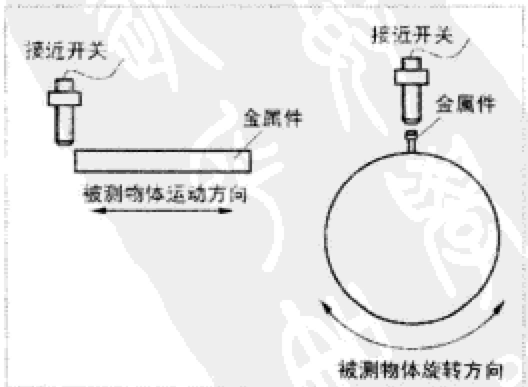


图5

4. 行程开关

一般指机械接触式的检测开关。前面介绍的磁感应器、接近开关、光电开关都是非接触式的。行程开关是无源无极性器件，机械触点输出，是最传统的检测开关，品种非常多，使用范围很广，其缺点是动作速度慢、有机械寿命限制。优点是寿命范围内动作可靠、工作稳定、不受电磁干扰，在安全性要求高的场合，常规定必须使用机械式的行程开关做最后一道的保护防线。行程开关在通用控制器中的接法非常简单，和前面说的门磁开关一样，一端接信号地端，另一端接控制器的输入端子。

二、输出执行器件

常用执行器件一般包括：加热棒（板）、交流或直流电机、交流或直流电磁铁、气动缸、液压缸。

气动缸、液压缸一般不能用电力直接驱动，必须用电磁阀间接驱动。采用通用控制器控制气动缸、液压缸，对应的执行器件是电磁气动阀、电磁液压阀（以下统称电磁阀）。

一些功率较大的执行器件，如加热器件、大功率电机、三相交流异步电机等，通用控制器不能直接驱动的必须外接继电器、接触器间接驱动。对于通用控制器来说这些继电器、接触器就是执行器件。

1. 电（动）机

直流电机和交流异步电机相信大部分读者已相当熟悉了，这里也不需多作说明了。同步电机驱动比较复杂，通用控制器驱动起来费时费力性能也不好，所以不适合驱动同步电机，这里也不作讨论。

（1）直流电机

额定电压不大于DC48V、额定电流不大于500mA的直流电机都可用通用控制器的输出端口直接驱动。由于直流电动机的启动电流较大，用控制器直接驱动，因不能提供足够的启动电流，所以启动力矩较低。在需大启动力矩的场合需用继电器进行电流扩展，电机电源也要有相应的供电能力。

（2）交流异步电机

主要分为单相和三相。

单相交流异步电机功率一般不大于500W，常采用短路环或电容移相产生旋转磁场使转子旋转。采用短路环方式移相的单相异步电机噪声小、震动小、寿命长，缺点是启动力矩小、效率低、发热稍大，所以一般只用在小功率的风扇上。采用电容移相方式启动力矩大、效率高，功率稍大（如250W）的单相异步电机还带有离合器，当电机启动并达到一定速度后，离合器会将电容移相回路断开以获得更高的效率和功率因数。缺点是噪声和震动稍大。

三相异步电机一般应用在大功率的场合，额定功率基本都在千瓦（KW）级，因为三相电源本身就可以形成旋转磁场使鼠笼式的转子旋转，所以不需要用电容或短路环。三相电机的启动电流很大，数倍于额定电流，常使用星——三角启动方式降低启动电流。

AC220V 500W以下的单相交流异步电机通用控制器可以直接驱动，但相应的驱动口的输出光耦需换成过零触发、双向晶闸管输出的型号，如MOC3081、MOC3063等，驱动管也需换为双向晶闸管，如BT136、BTA08等。光耦与双向晶闸管的电路见图6。

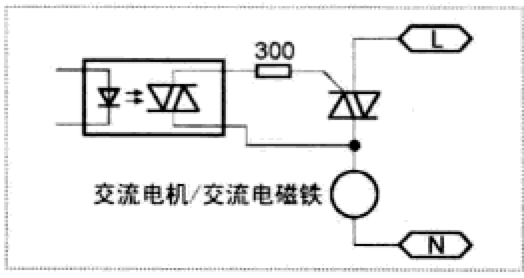


图6

同时不要忘记修改电路板上的线路，高压部分线路要尽量远离低压回路。对于没有离合器的电容移相的单相电机，有兴趣的读者可以用2组光耦和双向晶闸管分别控制运行绕组和启动绕组，程序中设定电机启动一定的时间后关断启动绕组的晶闸管，这样就可模拟出带启动离合的电机的效果。三相交流异步电机一般功率都在KW级，虽然原理上可用3组光耦+双向晶体管驱动，但万一出现故障时电流可能非常大，而通用控制器上的器件爬电距离不足，所以为了安全起见，还是应该用交流接触器扩展输出。需要注意，如果电机的功率较大，则需用两个输出驱动、两个接触器实现星——三角启动，两个接触器间需硬件接线实现互锁，以确保两个接触器不会同时吸合。

2. 电磁铁

电磁铁是小型机械里常用的器件，可以实现简单的短距离直线运动或旋转一定角度的动作。按动作、用途主要分为两大类：直线推拉电磁铁、旋转电磁铁。起重和抓拿类电磁铁不在本文的讨论范围。按驱动电流分为交流和直流电磁铁。电磁铁的原理相信读者在初中物理课已经学过了，这里就不重复了。直线推拉电磁铁和旋转电磁铁很好理解，使用者根据自己的需要选择就可以了。以下就交流和直流电磁铁进行介绍。

（1）直流电磁铁

动作平稳、噪声小、吸合后无噪声和震动、驱动电路简单，动作频率可以较高。缺点是起始吸力不大、行程偏小，要消耗一定的功率，大吸合力场合下使用时电流较大。通常改善其起始吸力小的方法是最初吸合时用较高的电压驱动以提高电流，吸合稳定后将驱动电压降低以减小电流。一般的直流电磁铁额定电压在DC48V以

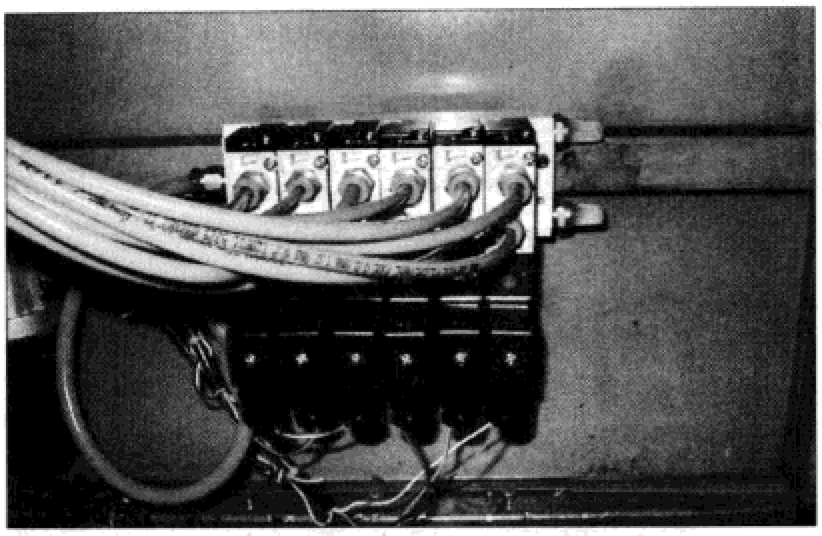


图7 电磁气阀

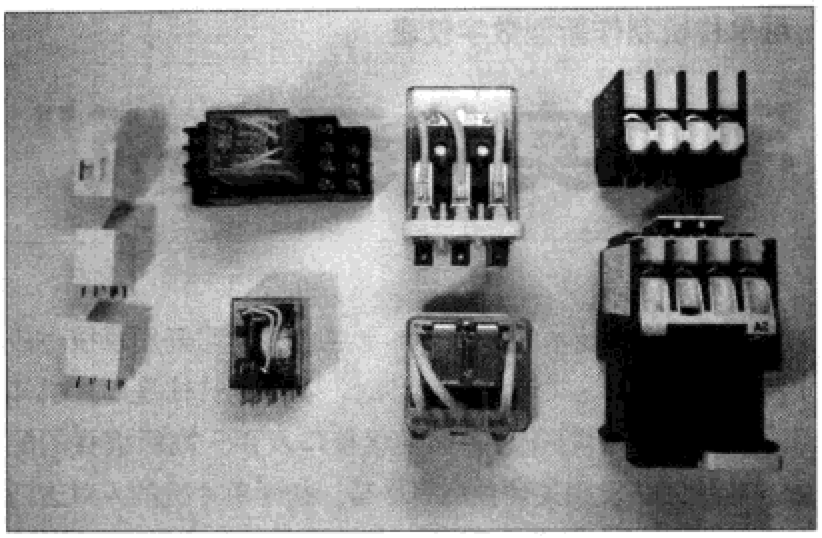


图8 继电器

下，个别大吸力的会达到DC115V，如电梯用的抱闸电磁铁。通用控制器中使用的直流电磁铁，额定电流不大于500mA的，可以直接驱动，如果更大就需要外接大功率管或继电器扩展电流。需要注意的是直流电磁铁断电瞬间会产生很高的反电动势，需要在其线圈两端并接一只续流二极管，以卸去这个反电动势。

（2）交流电磁铁

交流电磁铁吸力大、电流小，吸合稳定后能耗小、行程大，但噪声大、有震动，吸合行程起始段的电流比较大，动作频繁时会有一定的温升。部分档次稍高的交流电磁铁在其吸合接触面端部附近有短路环，用以改善噪声和震动。交流电磁铁以AC110V、AC220V较常用，其驱动方法除用继电器转接外，在通用控制器中也可用和驱动单相交流异步电机相同的双向晶闸管电路驱动。

3. 电磁阀

液压系统一般都用在需要力量非常大的场合，所以机器也会较庞大，容易因渗漏而影响工作环境，对渗漏要求较高，使用不太方便。小型自动机器大多数情况下采用使用简单方便的气动系统。

电磁阀简单来说就是通过电信号驱动阀芯移动，从而使油路或气路连通或关闭的器件。液压阀因为需要较大的推动力，所以常用额定电压 AC110V或 AC220V 的。气动阀额定电压以DC24V、AC110V、AC220V 比较常用，通用控制器中优先采用 DC24V 的。

需要注意的是气动元件因空气的压缩体积变化较大，气动阀、气动缸的动作需要一定的时间，程序上需增加必要的延时以保证气动元件运动到位，或者是采用前面提到的磁感应器来检测气缸是否已动作到位。液压的机器虽然液压油的压缩非常小，但液压系统中液压油的流动速度较慢，大体积的液压缸动作缓慢。同时液压系统的压力很大，液压阀的电磁铁的推拉力不能可靠地驱动液压阀的主阀芯运动，通常是电磁铁先推动一个直径很小所以压力很低的副阀芯，再通过副阀芯送出的液压油推动主阀芯，这个过程也需要一定的时间，所以液压系统控制的编程也不能忽略这部分的动作时间。

电磁阀的驱动就和普通电磁铁一样，可按前面所说的电磁铁的驱动方法驱动。

4. 继电器交流接触器

常用的继电器如图8所示，相信大部分读者也相当熟悉了，通用控制器对继电器的驱动方法也和普通电磁铁一样不再重复了，建议优先选用线圈电压DC24V的。

鉴于无线电爱好者普遍对强电接触不多，而在机械设备中三相强电部件会经常用到，所以这里简单介绍一下交流接触器，图8中最右面的一列就是一主触点额定电流30A的交流接触器，它上面的是作扩展用的辅助触头，使用时两者是装配在一起的。交流接触器其实也是继电器家族中的一员，主要用于三相AC380V动力电源的接通和切断。常见的是一排4个触头的，其中有3个主触头，都是常开的，用于三相回路的通断，有些型号会带有灭弧罩以防止接通或断开瞬间的电弧飞溅。另一个是常闭的辅助触头，用于连接其他逻辑回路（如互锁电路）。对于像三相电机那样的电感性的三相负载，应优先考虑用过载能力和防电弧能力强的交流接触器作为通断控制器件。如果是发热管那样纯电阻类型的负载，也可采用图8左边数起第3列的大电流触点的继电器或晶闸管来控制电源的通断。

结束语

单片机控制器的构成多种多样，但基本的功能都不外乎：输入——逻辑判断——输出，并以人机交互界面配合工作。本文推荐的通用控制器旨在抛砖引玉，通过笔者叙述的经验，希望能启发各无线电爱好者的思维。

用单片机制作新型数字仪表

◎史振道

用“实战开发板”制作数字产品

随着单片机技术的兴起，形形色色的学习开发系统也应运而生。这类产品在设计时，看重的往往是单片机知识的全覆盖，所以备有各类通信接口及用于高级编程的配置、实验线路及相关硬件应有尽有。初学单片机的人对这门神秘的技术本来就具有惧怕心理，一看这阵势，恐怕更犯晕了。要知道，这些高级功能，连有一定单片机基础的人，都未必能全都搞懂或用得上，更不要说初学者了。更重要的是，在这些平台上做了大量实验后，学员仍处在纸上谈兵阶段。对实用而言，考试的高分仍只是花拳绣腿。因为这类开发板基本不涉及板外系统和工程实例。

本文介绍的“实战开发板”见图1，它与众不同之处在于，不求完备、只求精炼。对初学者而言，少而精、学到手、用得上，才是第一重要的。本开发板既不是出自教研室，也不是出自实验室，而是出自工程一线的老兵之手。简洁的设计一目了然，足够诸多常用、典型的数字产品开发之用。学习、实验、样机一气呵成。可将开发板直接作为主控板制作出适用产品来。随赠的智能仪表既是参考样板，也是产品模块。遇到机会，两件宝物可立马变为两件超值产品，应用于各种电子工程之中，将经济和技术的雪球一起滚大。AK-47 自动步枪出自前苏联老兵之手，因为他用枪、懂枪，设计时就力求拆装方便，简单高效，耐沙土雨水，结果一炮走红。实战开发板出自电子老兵之手，设计时同样追求简单、高效、实用。电子爱好者朋友，不妨试试这把电子 AK-47，打几发试试效果如何？学习单片机也像学射击一样，先从基本知识学起。你只要看懂几页书，弄清几条指令的含义，就可以动手做下面几个实验（产品）了。有关“实战开发板”的详细介绍，可参阅《无线电》2010 年第 1 期第 76 页的文章。

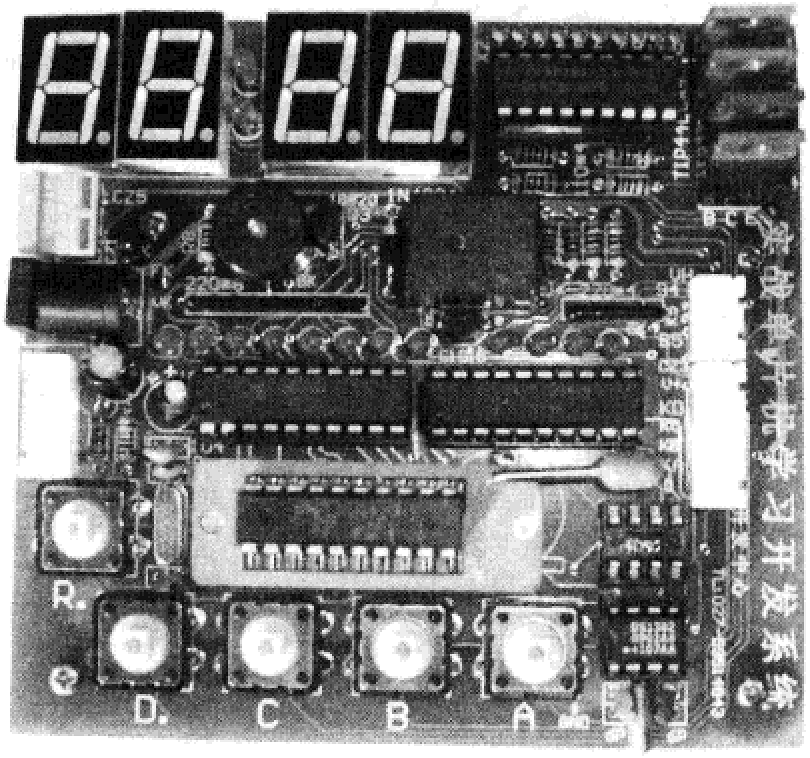


图1

用开发板制作LED动感广告牌

本实验的准入门槛非常低。只要会钻孔、锯割、拼装，有电子常识、会焊接，能读懂单片机教材的入门篇，就可以按部就班进行制作了。

图2 LED动感广告牌

广告牌基板 基板用 5mm 厚的塑料板制成。先在电脑上设计一个字模，再将字模打印，复制到基板上。按照图示的尺寸，外框装饰的 LED 灯珠，间距为 22mm，每 3 个串联为一组。将外框灯珠数量凑成 3 的倍数。本例是 40 组，120 颗灯珠。中间的汉字也按此间距排列灯珠。然后按照图样打出 $\phi 5$ 的穿心孔，用以安装 LED 灯珠。基板周边用型材制作一个边框，以便悬挂，见图 2。

发光单元 汉字用 $\phi 5$ 的 LED 草帽管制作。广告用 LED 灯珠常用的有食人鱼管和草帽管两种。它们的发光角度都是 120°，可使产品正面的视野开阔。食人鱼管因凸透镜像鱼眼而得名。此产品性能好而价格较贵。草帽管外壳像一个小草帽，价格较低。汉字用红色灯珠，通过 20mA 电流时额定电压约 2V。装饰框用绿色灯珠，额定电压约 3V。为提高效率，整机电源用 DC12V。红色灯珠 5 只串联，再与限流电阻串联成为红色发光单元。绿色灯珠 3 个一串，接通限流电阻后成为绿色发光单元。在这里限流电阻 R 的存在至关重要，它可以大大降低 LED 明灭的瞬间产生的冲击电流，大大延长灯珠的寿命。有了它灯珠在回路的电流约为 18mA。

广告牌组装 这里广告牌是单片机的外设。将红绿色灯

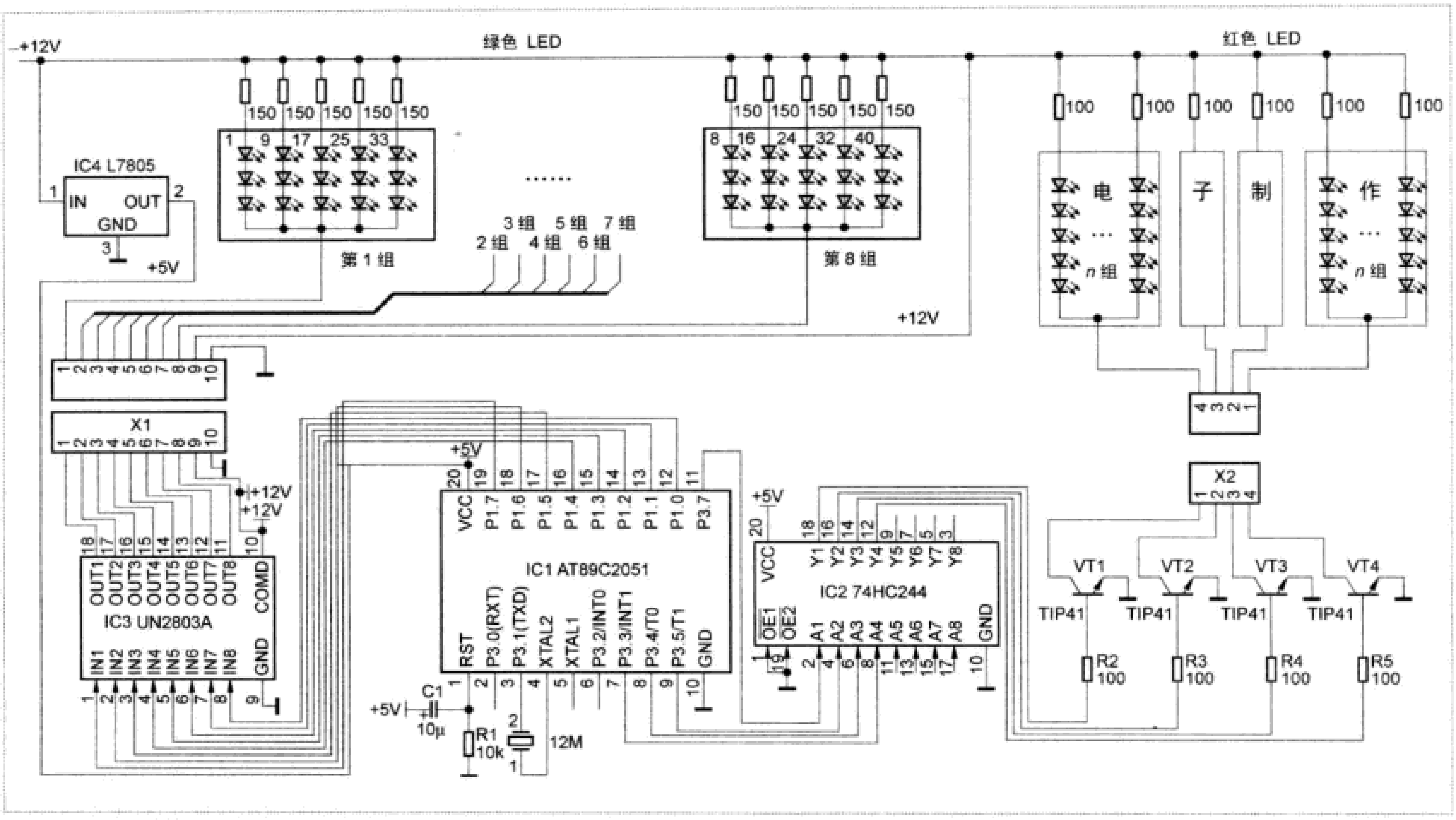


图3 LED动感广告牌原理图

珠穿入孔内，每 3 或 5 颗灯珠经 R 串联后，形成正负两个接线端子。同一汉字的显示单元，正极联在一起，负极也联在一起。4 个汉字的 8 个线头，正极接 12V 正极，这叫做“共阳极”接法。A、B、C、D 这 4 个负极端子是受控端，依次接入 X2 线路接口。装饰框的发光单元，正极全部接电源正极，负极的 120 根线头按间隔 8 位的规律并联，形成 8 根线头。再依次接入 X1 的 8 个接线端。这就是边框发光单元的控制端。在进行串联、并联焊接时，因基板为绝缘体，可不必使用线路板。只需用胶枪将灯珠固定，再将各焊点一一扳倒并注意适当间隔。联好的线路尽量整齐、安全、固定。组装完成的广告牌，共有正极一根线头，汉字 4 根线头，边框 8 根线头。

控制器简介 开发板制作 LED 广告牌的电路原理图见图 3。

P3口的4路输出信号经74HC244放大到15mA，激励4路TIP41C。当激励电压为正时，输出管饱和导通，某个汉字发光；当激励信号为0时，输出管截止，该字熄灭。8路P1口输出经UN2803放大，控制8路边框发光单元。UN2803是8路达林顿管集成电路。呈反极性方式工作。即输入端为正时，输出端为零。TIP41C的集电极电流最大值为4A，UN2803每路最大吸入电流为500mA。因二者均不带散热片，最大值应减到40%左右。实验证明，本电路电流分别在1.2A和200mA时，器件温升在安全范围内。本产品的实际电流为：汉字每字300mA，边框每路90mA，双面加倍。

编程概要 最基本的闪灯程序是用 MOV BO #80H ~ MOV B0 #08H 分 4 次给 P3 口赋值，再配以循环延时程序，4 个字就可以跳动起来。当你学会数据在累加器中左右旋转时，跳灯编程会更简练。这些方法，都是让汉字和边框要么同时变化，要么一个静止，另一个变化。当你学会了中断编程后，就可以使汉字和饰框各行其事，花样就有了质的变化。这个由浅入深的过程，很像我们启蒙时先学写“人”“口”“手”，再学造句和写短文，最终写出宏篇巨著。单片机的神奇之处在于，同样的硬件结构，却可以编制不同的程序，产生大不相同的运行效果。单片机也像电脑一样——博大精深。通过不懈的努力循序渐进，最终达到驾轻就熟的高级境界。

产品市场分析 这个看似简单的实验，做成的产品前景如何？答曰：“前景光明。”任何商家一个 LED 动感招牌在门口一挂，既美化了门面，又

图4 生产看板实物照

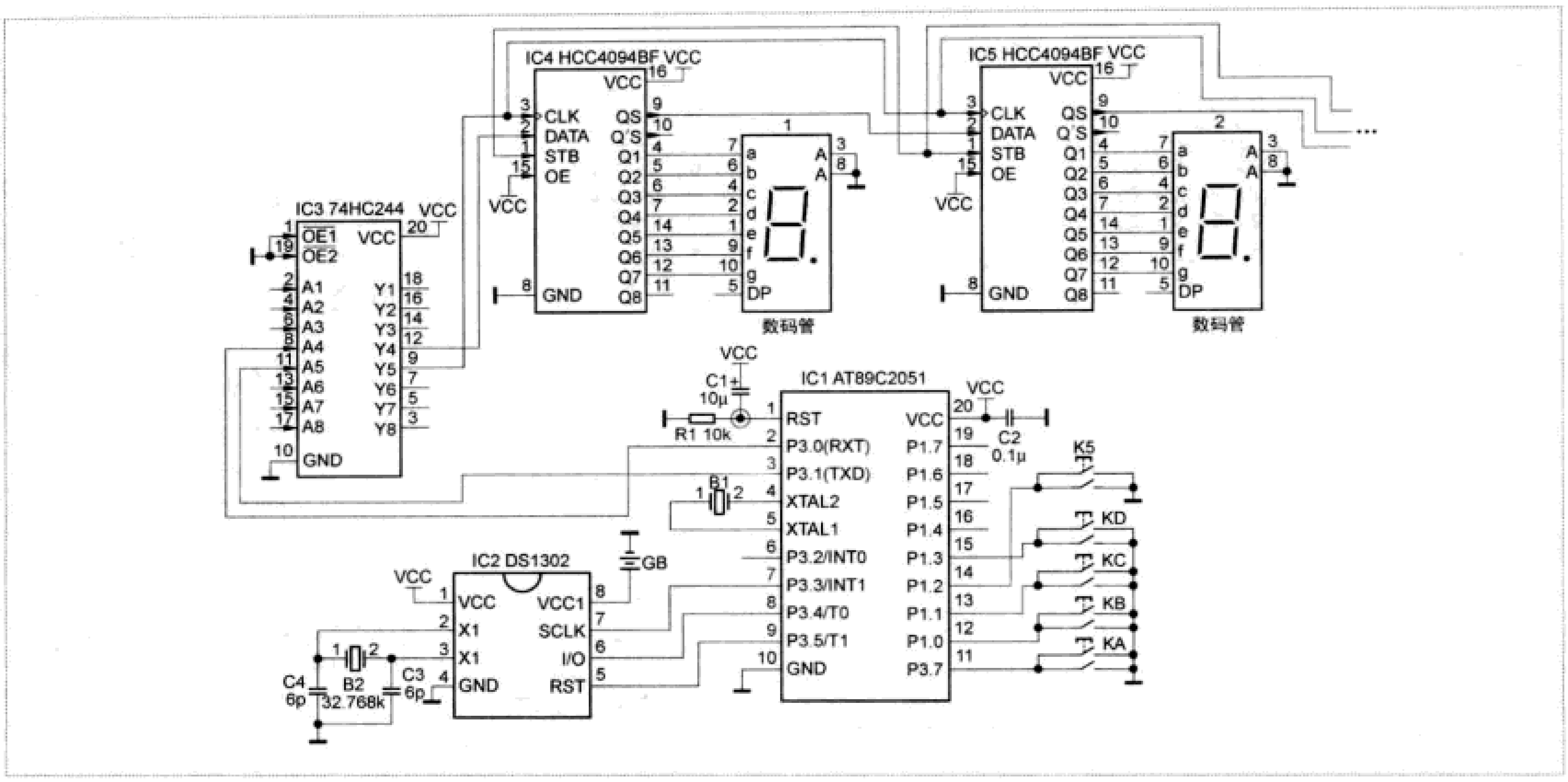


图5 生产看板原理图

轻而易举地扩大了宣传。价格也在一般人可以接受的范围。每颗灯珠平均不足0.2元，框架基板数十元，外购控制器、电源不足百元。而一个双面电子招牌市场价为700元上下。市场需求用“无限”来描述，相信并不过分。对任何电子爱好者或电子从业者，这都是一个不错的商机。本产品如用于娱乐场所彩灯控制，或用于工程展览模拟流动效果，其潜在价值还要高出许多。

笔者还另外开发了专用的“LED广告牌控制器”，安装简单，可登陆www.cccc027.com网站观看视频演示。

用开发板制作综合生产看板

现代企业都在引入数字化管理手段，最常见的就是在班组或生产线安装综合生产看板。用实战开发板可以胜任愉快地制作出这类产品。以下详细介绍：

看板结构 班组和生产线用的生产看板，其典型结构有一个大家公认的模式。一般是4项考核项目：生产节拍、计划产量、实际产量、产量差异。生产节拍是指某产品每件的平均生产工时，以分、秒为单位；计划产量是指按节拍不间断运行，应产生出多少件产品；实际产量是指已验收合格的产品数量；差异是指两项之间的差额。常规的班、组、线看板外形如图4所示，原理图如图5所示。

运行机理 按动调节键，输入节拍数据。开工时按下启动键，节拍进行秒倒计时。全零时计划产量加1，周而复始。当检验员验收完一件产品时，手动按下K5键，实际产量加1。这两次加1的同时，电脑都会进行运算得出差异值是正是负。是正值，绿灯亮；是负值，红灯亮。有的车间还要求显示设备运行状况，只需在程序中增加一个子程序即可办到。若要清除两项产量值，可以采用复用键功能。按下停止键（D），判断是运行期间还是静止期间（有标志），是运行标志，停机；是静止标志，访问调1（C）、调2（B）键，若调1键为0，清除目标产量；若调2键为0，清除实际产量。如此设置，不仅使控制面板更简洁，而且可杜绝误击清除键造成意外清除。运行标志的设置，使得调1调2键在运行中无效，相当于为节拍值加锁。这样一来，一个完美的生产看板管理程序就生成了。

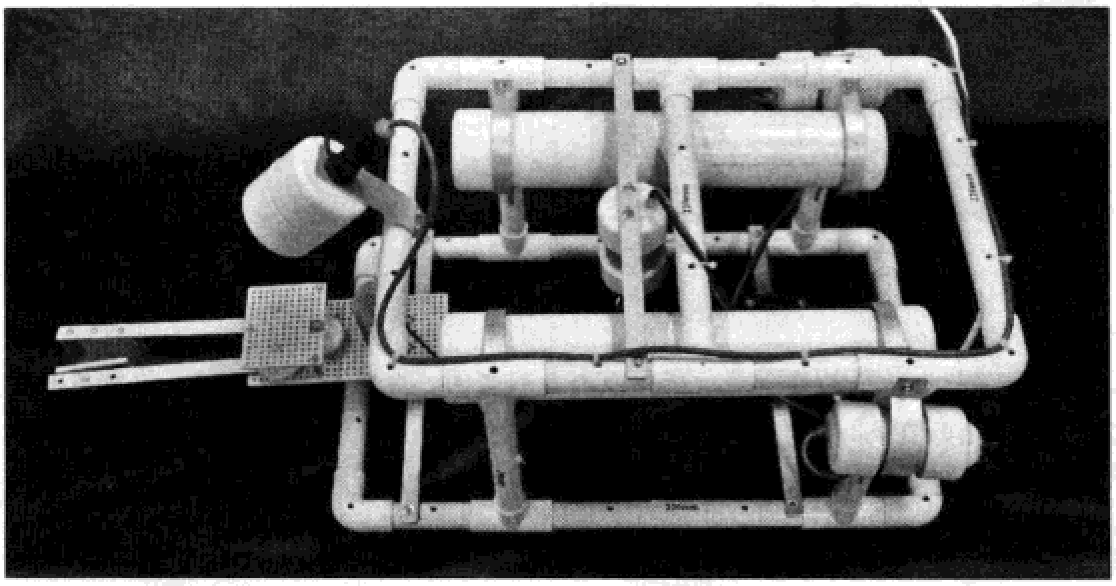
市场前景 在轻工和制造业内，一家企业有几十上百个班组或生产线。对生产看板的需求巨大。目前只有部分企业率先安装到位。而且谙熟此项产品的科技公司不多，企业技改往往到处寻求合作。作为一个电子爱好者，应尽快完成充当从业者的角色转换，作为一个电子从业者，应迅速自我升级，抓着机遇，力争大订单大项目，在新时代里创造新的业绩。要知道，即使最基本的生产看板，参考价也是四位数。数字产品的投入产出比，常常是用倍数来衡量的。实战开发板制作生产看板，只需外配若干位3英寸显示单元，外加一个金属外框。外购成品控制器、显示器，则制作更简单快速。

智能仪表、实战开发板、数字产品应用实例的陆续刊登，意在鼓励大家都来学习、使用、推广数字技术。如能看到更多的人通过历练，成为自动控制专业人才，那将是笔者所企盼的。相关产品供货信息见第103页广告。

图解制作潜水机器人

◎周宝善

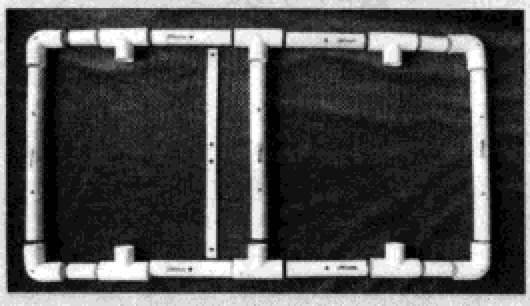
01 20世纪70年代，一对双胞胎男孩，从6米高的石拱桥上跳入水中，过了好长一段时间，没有浮出水面。大队长立即通过广播召集来几十名潜水高手，进行艰苦的大面积搜救，约十分钟后，男孩被捞上岸，在当地名医近两小时全力抢救后，男孩起死回生，这在当地算得上特大新闻。如果有一台潜水机器人，结果会怎么样呢？最近，钜发企业（香港）有限公司开发出一款名为《UW—1潜水机器人》，如附图所示，能潜能浮，能进能退，还能转弯，最可贵的是该机器人还有一双能抓能放的机械手和一只CCD高清摄像头，能清楚捕捉到水下精彩画面，听说，这款机器人在广东地区已开始组织竞赛活动了，问题是：如何制作呢？请看下文。



02 按附图试组合平台顶部。

[组合顺序]上排与下排组合顺序为：弯管、34mm直管、三叉管、100 mm直管、三叉管，100 mm直管，三叉管，34mm直管、弯管；中排组合顺序为：220mm直管、267mm铝条、220mm直管、220mm直管。

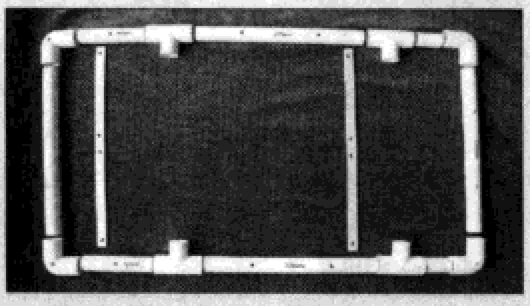
[连接方式]弯管与直管、直管与三叉管为直接套接，铝条与直管使用直径2.5mm木工螺丝加一小圆垫片紧固连接，铝条安装孔直径为2mm，位置须靠近中央220mm直管。



03 按附图试组合平台底部。

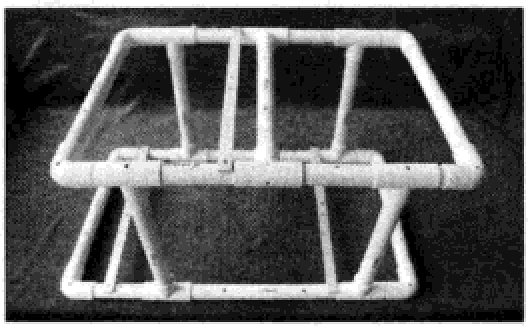
[组合顺序]上排与下排组合顺序为：弯管、90mm直管、三叉管、220mm直管、三叉管，34mm直管，弯管；中排组合顺序为：220mm直管、267mm铝条、267mm铝条、220mm直管。

[连接方式]弯管与直管、直管与三叉管为直接套接，铝条与直管使用直径2.5mm木工螺丝加一小圆垫片紧固连接，左侧铝条安装孔须靠近左侧220mm直管，右侧铝条安装孔须靠近右侧220mm直管。



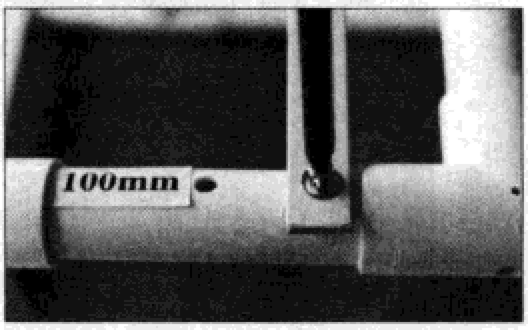
04 按附图试组合平台底部与顶部。

[组合顺序]将平台顶部的三叉管与平台底部的三叉管用4根190mm直管直接套接起来，190mm直管上有4个直径为2mm安装孔，孔的位置须靠近平台顶部，孔的方向与铝条方向一致。



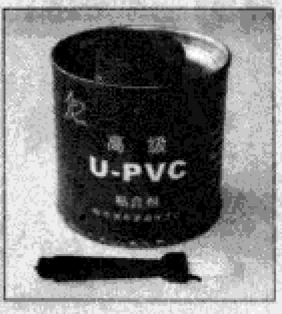
05 试装成功后按附图固定铝条。

使用6颗直径2.5mm木工螺丝加小圆垫片将3根267mm长的铝条分别紧固在平台顶部与底部对应的安装孔上。



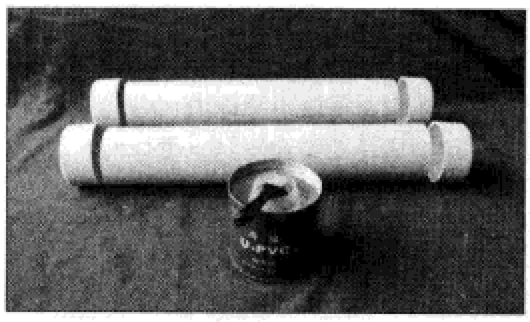
06 按上述组合顺序用附图所示的PVC胶粘接好。

经检查组合顺序无错误，用PVC胶将弯管与直管、直管与三叉管粘接起来，注意确保平台底部在同一平面内，平台顶部在同一平面内，4根190mm直管与平台顶部和底部垂直。涂胶的时候最好涂得均匀些，下边铺一张报纸，旁边准备一块抹布，慢慢粘，可别着急哟！

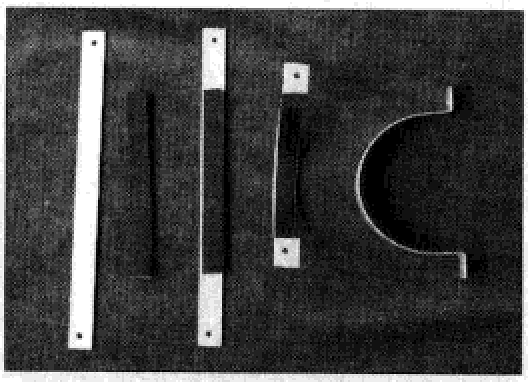


07 按附图组合顺序用PVC胶将两截长300 mm浮管密封好。

在粘好一侧密封盖后，再粘另一侧密封盖时，发现密封盖总是被弹回来，这是为什么呢？这是因为管内空气被压缩，管内气压大于管外气压的缘故，就说明浮管密封良好，这样机器人下水后，就有足够的浮力托起机器人，而不是沉到水底浮不上来！

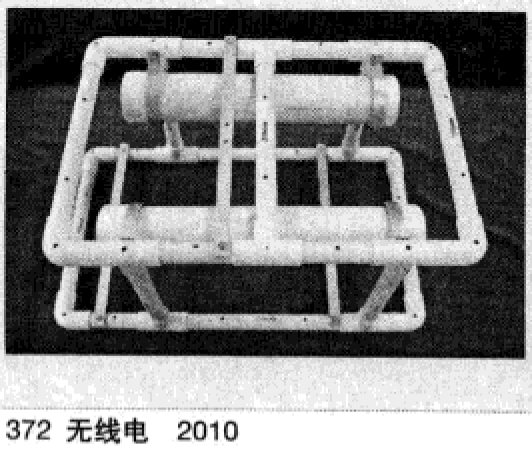


08 按附图所示将4片长77mm的铝条按浮管粗细弯曲成形，并贴上橡胶垫。



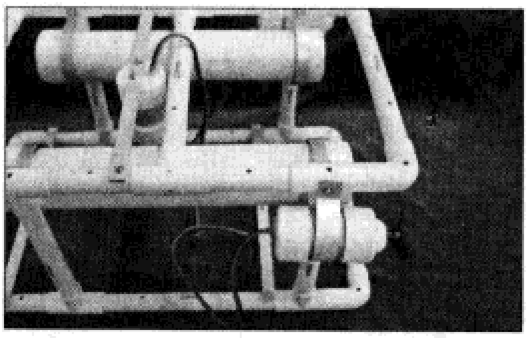
09 按附图将两截浮管固定在机器人平台上。

用弯曲成形的铝条包住浮管，使用8颗直径2.5mm木工螺丝加小圆垫片将两截浮管紧固在4根190mm直管上，安装位置为机器人平台内部，靠近平台顶部。



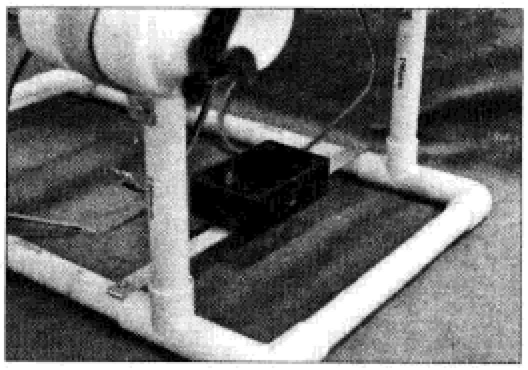
10 按附图将电动机固定在机器人平台两侧与中央。

将2片长134mm铝条按电动机粗细弯曲成形，并贴上橡胶垫，用弯曲成型的铝条包住电动机，用4颗直径2.5mm木工螺丝加小圆垫片将2只电动机紧固在2根190mm直管上，安装位置为机器人平台尾部外侧，靠近平台顶部，安装方向为螺旋桨指向后方。将另一只电动机倒装在平台顶部的铝条中央。



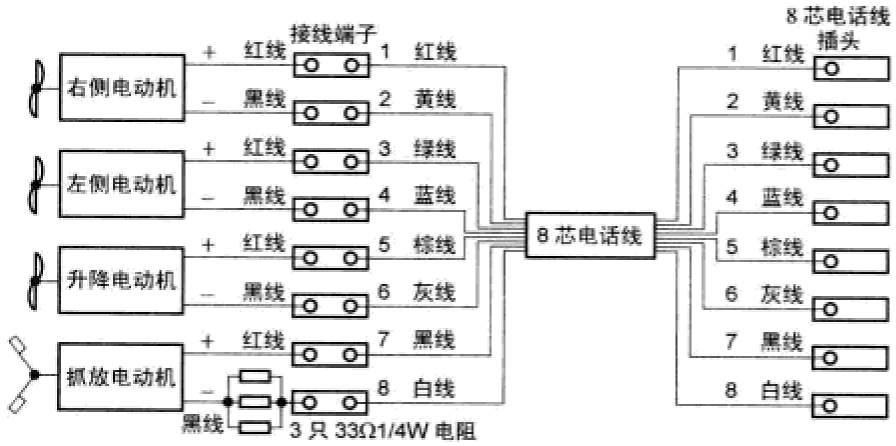
11 按附图将接线盒固定在平台底部后方的铝条中央。

用2颗直径3mm螺丝、螺母加小圆垫片将接线盒固定在平台底部后方的铝条中央。

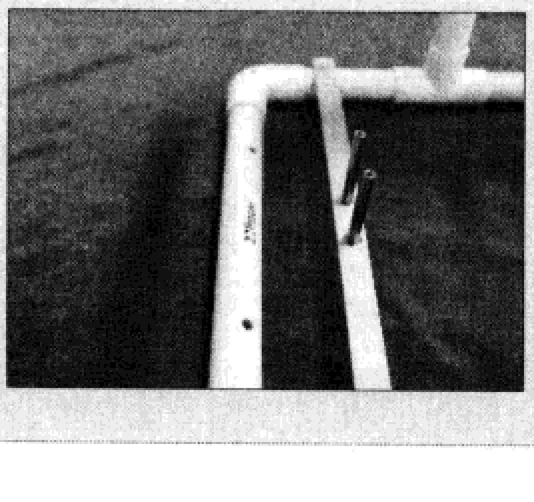


12 按附图接线。

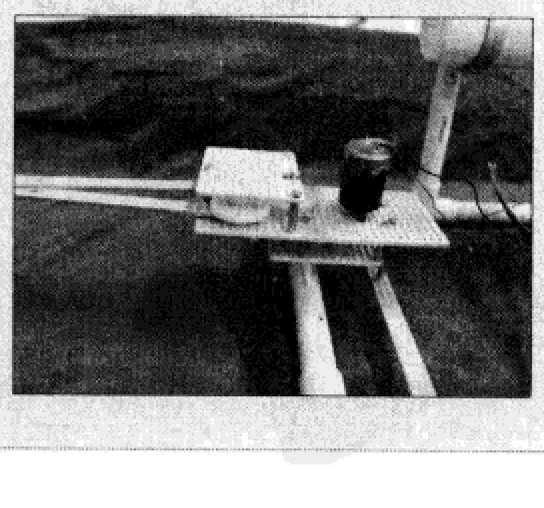
在8芯电话线的另一端，将红线与黄线之间、绿线与蓝线之间、棕线与灰线之间分别通6V直流2秒钟，黑线与白线之间接通12V直流2秒钟，看看4只电动机是否转动？如果电动机不转动，可能是电路存在断路现象，也可能是电动机坏了。



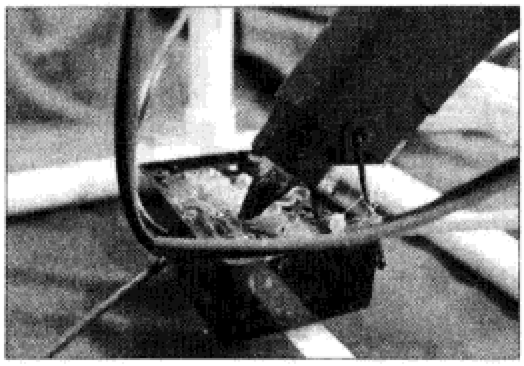
13 按附图在平台底部前方的铝条中央安装2支六方铜柱。



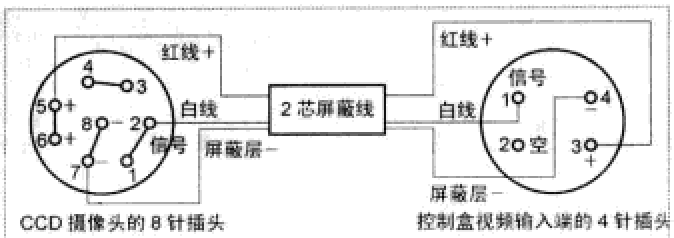
14 按附图将机器人抓放装置固定在2支六方铜柱上。



15 在接线盒内注入热熔胶，然后放入接线端子继续注入热熔胶，起到防水作用，如附图所示，最后合上盒盖，用直径3mm的木工螺丝固定。

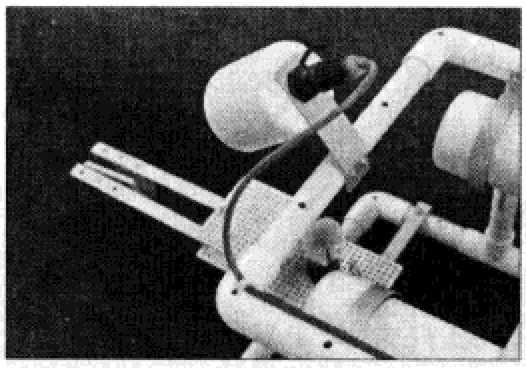


16 按附图焊接CCD摄像头的8针插头线。



焊接时，需控制好电烙铁加热时间，加热时间不可过长，以免烫坏插头塑料。焊接完毕，用万用表检查摄像头的第1针与第2针是否与控制盒第1针接通，摄像头的第5针与第6针是否与控制盒第3针接通，摄像头的第7针与第8针是否与控制盒第4针接通，同时测试一下红导线与白导线以及屏蔽层之间是否有短路现象，测试正常，用热熔胶密封8针插头接线处，以防漏水短路。

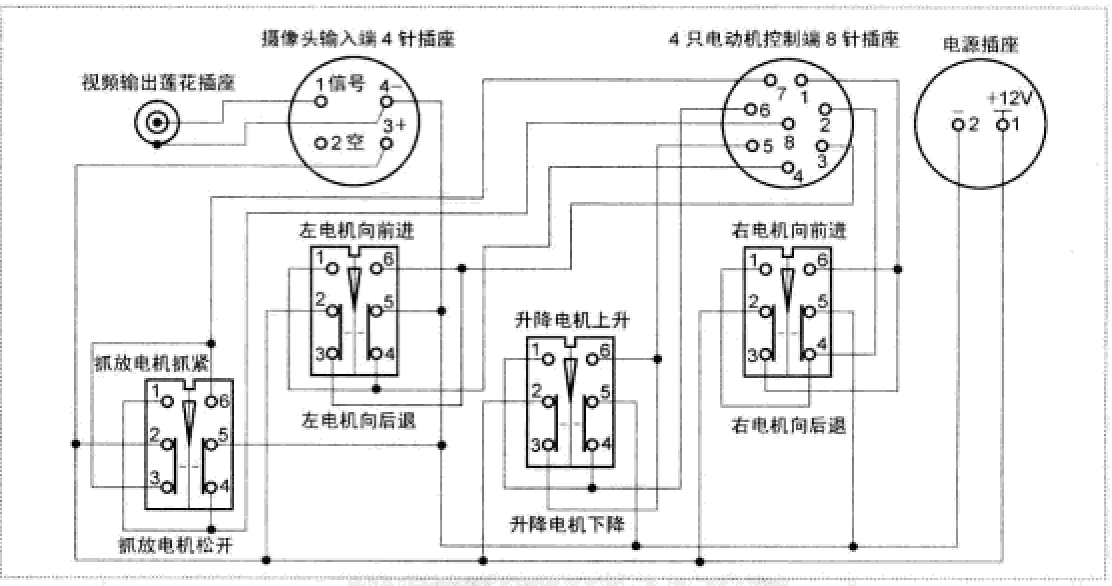
17 将摄像头用2颗直径2.5mm木工螺丝加小圆垫片固定在平台顶部前方的220mm直管中央，如附图所示。用尼龙带将电机导线、2芯屏蔽线、8芯电话线捆绑在机器人平台上，并用尼龙带每隔10cm将长约15m的2芯屏蔽线与8芯电话线捆绑在一起。



19 按附图连接控制盒上的控制开关与接线插座的电路。

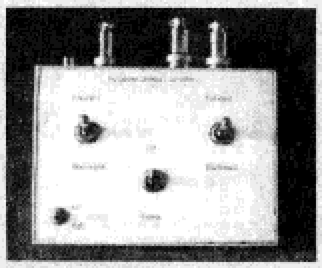
4只控制开关均为六脚三挡拨杆开关，向上推，第2脚与第3脚连通，第4脚与第5脚连通，向下推，第1脚与第2脚连通，第5脚与第6脚连通，中间一挡，6脚各不连通。

4只控制开关之间的接线规律是：第2脚均与电源正极连通，第5脚均与电源负极连通，第3脚、第6脚与电动机正极相连，第1脚、第4脚与电动机负极相连。



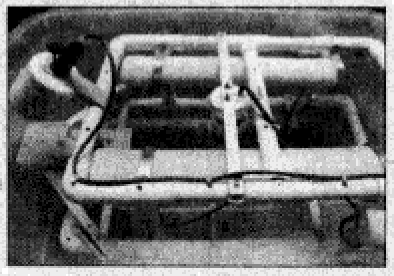
18 按附图安装控制盒上的控制开关与接线插座。

控制盒上边第1个插座为直径7mm莲花插座，供视频输出；第2个插座为直径12mm的4芯插座，是CCD摄像头输入端；第3个插座为直径15mm的8芯插座，是4只电动机控制端；第4个插座为直径15mm的2芯插座，是电源插座（电源电压为12V），配套插头的第1脚接电源正极，第2脚接电源负极；控制盒面板上为4只控制开关。



20 通电，检测摄像头摄像功能以及4只电动机工作状况。用莲花插头线将控制盒的视频输出口插接到带有A/V输入的电视机或显示器的视频输入端口，接通电视机的电源并按下AV键，给机器人接入＋12V电源，显示屏上将显示摄像头拍摄到的画面。接下来，拨动控制盒上的开关，检测4只电动机工作状况是否正常。

21 将机器人浸入水中，检测机器人在水中的工作状况。若机器人头沉尾翘，可将两只浮管的安装位置向前移。若左倾右漂，可在左侧增加一些泡沫塑料，或在右侧增加一些铅块。若不能下潜但升降电动机工作正常，可在下方适当增加一些铅块，让它刚好浮在水平线上。检测调试完毕，你就可以让你的潜水机器人在游泳池内或小河里大显身手了！Ⓦ



有关本潜水机器人更详细的信息可到 www.telefact.com.cn 上查询。

简单稳定地感应你

——红外感应开关的创新制作

◎杜洋

豪华酒店的厕所之旅

我们家族八辈贫农，生活在一个东北的小山村，虽然说没见过什么大场面，可是好山好水的，生活倒也不错。从小对电子制作的着迷也受到了环境的限制，很难去一趟城市，也没见过什么新奇玩意儿。话说，在我 13 岁的那年，老爸朋友的儿子结婚，在城里置办了酒席，请我们一家三口过去。人家的婚礼真是气派，就在铁力市中心最豪华的大酒店举行。酒店里金碧辉煌，地面光得照人，墙上贴着大大的“喜”字。年头久远，记不清更多的细节，唯有一件事让我印象深刻。菜上来了，有我最爱吃的大虾，配上大瓶的可乐，两眼一闭、大嘴一张，吃它个天翻地覆、死去活来。吃饱喝足，来到豪华酒店的厕所门前。厕所里也金碧辉煌，地面也光得照人，墙上贴着大大的“男”字。没错，就是这里了。走进去看到一排小便池，小便池并不稀奇，之前也有见过，稀奇的是小便池上面贴着标语，上写“向前一小步，文明一大步”。更稀奇的是标语的下面有一个方形的金属板，金属板中间有一个黑色方形的玻璃。我一边小便一边研究着，我发现时不时地从黑色玻璃里面会亮起一个小红灯。我把身体前后移动，小红灯也跟着闪烁。当我转身离开的时候，突然听到“哗哗”的冲水声。我马上回来看，小红灯又开始闪烁，我一走开它又冲水。难道黑色玻璃后面有人在看？我有点害羞，没敢再过去研究。来到洗手台，发现一排水龙头竟然都没有阀门开关，我拍了拍出水口，没有反应。忽然发现出水口下面也有一个黑色玻璃，我把手伸过去，水就自然地流了出来。我确定黑玻璃的后面没有人，这应该是一种感应装置，可以感应到我的手。可它到底是如何感应的呢？洗完了手，正准备出门，又发现门旁边的干手机。干手机的底部也有一片黑玻璃，当我把手放在下面时，一股暖风出现了。

感应水龙头和感应开关

这次豪华酒店的厕所之旅把我给震撼了，原来电器的开关可以这么智能，不用我们触碰到它，它就可以感应到我。我的脑子开始高速运转，想象着这项技术应用到自己家中的情景。妈妈洗菜可以不用开水龙头，家里的电灯不用出力按就可以开关，还有家里的电视机、电风扇、奶奶的收音机都可以放上这种感应开关。把它装在大门上，和门铃连接，只要有人站在门口，门铃就会响。我的小伙伴来家里找我，一定会把他们吓一跳的。想着想着，忍不住笑出声来。

从数字电路到单片机

上了大学后，学校里有很多书店。在没有发现单片机之前，我一直在书店的电子技术专区里徘徊。那里有好多关于电子制作的书，都是我喜爱的。我最爱看的就是电子制作500例之类的书，里面的好多制作简单又实用。某天，我突然在书中发现了红外线感应干手机的制作实例。一下把我带回到那一次难忘经历——豪华酒店的厕所之旅。我要实现我少年的梦想，我要实现这个制作。接下来的日子里，我就开始研究红外线感应干手机的原理和电路。

原来，所谓的感应开关，只是利用了人眼看不到的红外线来感应物体。感应开关的核心元器件就是红外反射传感器。红外反射传感器包括一个红外线发光二极管和一个红外线光敏二极管，它们两个都朝着一个方向，被封装在一个塑料外壳里。使用时，红外线发光二极管点亮，并发出一道人眼看不见的红外光。如果传感器的前方没有物体，那么这道红外光就以299792458m/s的速度（光速）消散在宇宙中。但如果传感器前方有不透明的物体时，红外光就会被反射回来，会照在旁边的红外线光敏二极管上。红外线光敏二极管接收到红外光后，其输出引脚的电阻值就会产生变化。通过

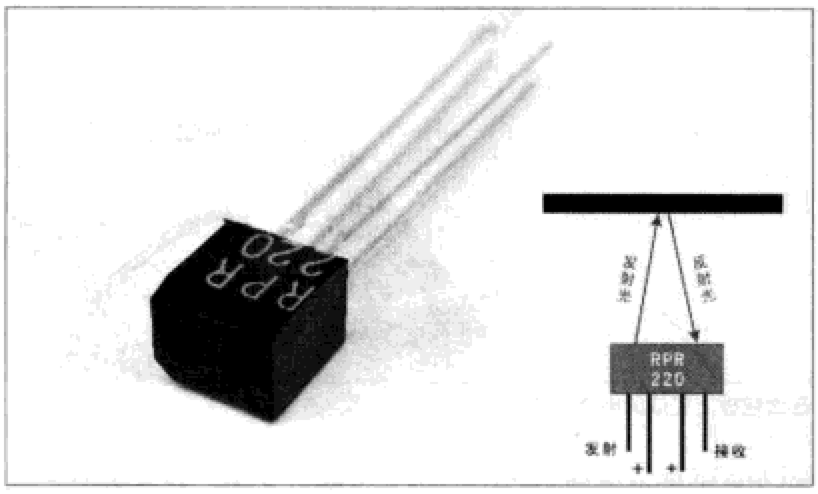
判断这个阻值的变化，它就可以感应到前方的物体，进而控制电器开关了。

了解了原理，又看到了书中的电路原理图后，我却产生了新的疑惑。红外线发光二极管应该和普通二极管的驱动电路一样，用红外线光敏二极管加一个三极管放大接收信号来驱动继电器不就可以了吗？为什么还要加NE555和CD4069两个芯片，把简单的事情搞复杂了呢？看了后面的文章介绍才知道，原来这样做的目的是为了防止环境光的干扰。在我们生活的环境里，处处都暗藏着红外线。太阳是最常见的红外线发光体，还有火光、灯光、红外线遥控器和一些不可预知的光源。问题来了，身边这么多红外线光源，传感器里的红外线光敏二极管怎么知道哪些光是环境里的红外光，哪些光是它邻居发出来的红外光呢？于是天才的工程师想到了调制解调的办法。他们把红外线发光二极管以某一频率进行调制，即让它以一定的频率闪烁。在红外线光敏二极管一端则设计一个电路，让接收端可以筛选出这一频率的红外光源。像收音机一样，传感器只要以自己的频率发射，再以自己的频率接收就可以过滤掉其他频率光源的干扰了。

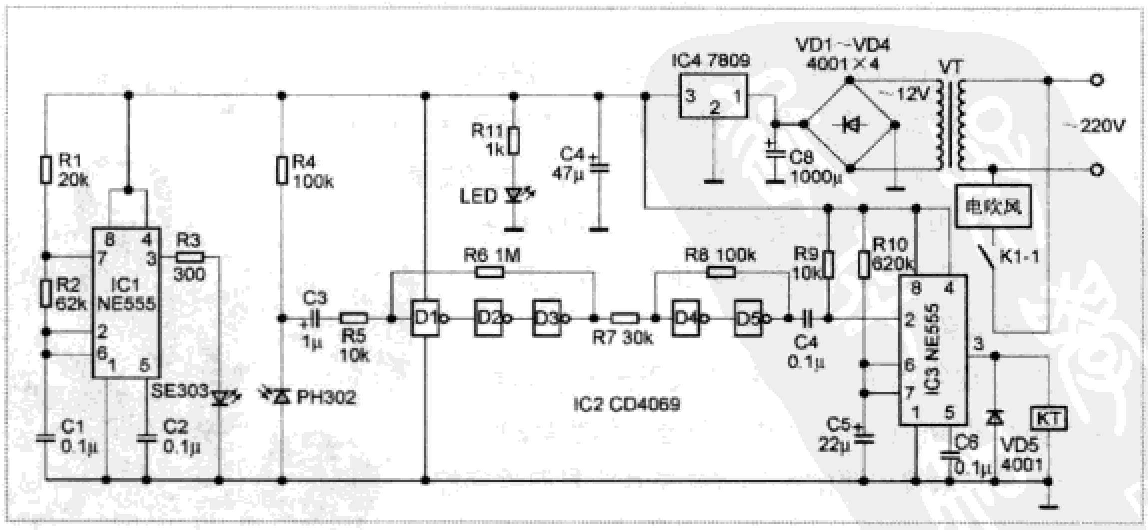
哈哈，看过原理之后，心中暗自生起了一团烈火。然后以70km/h的速度（坐车）奔向电子市场。备齐了元器件，照着原理图制作出了实物。不得不佩服我当时的焊接水平，用了一片小小的洞洞板，把电路制作得小巧、紧凑。不过接上电源之后，问题就来了，当我把手放在感应区域时，指示灯并没有亮。后来发现，这是发射频率和接收频率不匹配导致的，因为采用的是RC电路产生频率，简单地说就是靠电容的充放电周期产生频率，所以频率很容易随温度变化而变化。电路的调试花了我许多时间，在没有示波器的帮助下，光靠反复修改电阻值和电容值的测试来达到成功是多么困难的事情呀！当同学把手放在感应区，指示灯亮起的那一刻，所有调试的困苦都转化为成就感，在同学们赞叹的话语中成几何性倍增了。

像电影一样，故事到了高潮，接下来的每一步都是坠落。同学们只看到了光彩的一面，背地里它悄悄出现的问题，都成为我们私下独处时的伤痛。在一个阳光明媚的下午，强光照进室内，感应开关受强光的影响而处在不稳定的状态，它不断地自行开关，而且对反射物体没有反应。家里常用的电视机红外线遥控器也会让感应开关失灵。即使把它放在阴暗的角落也会出现一个讨厌的问题，即当反射物体处在某一个特殊距离时，感应开关就会不断地开关，继电器的吸合很快，好像一台电报机。这是因为反射物体正好处在了感应区的临界点上，也就是“感应到”和“感应不到”的分界线上，物体微微靠近或离开就会产生开关状态的改变。没有人会希望自己家的电灯像闪电、水龙头像音乐喷泉吧。这些问题加在一起，让感应开关的应用很不理想，辛辛苦苦把家里所有的电灯开关都改装成感应的，不到一个月又被爸爸改回了传统开关。慢慢的，对感应开关的兴趣就被音控开关、延时开关的制作热情所取代。几星期后，我和红外线感应开关彻底分手了。

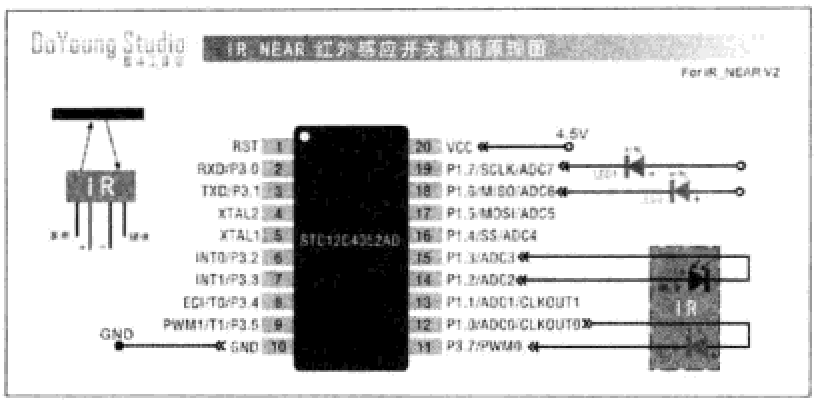
从那之后的某一天，我开始学习单片机。几个月前我对单片机内置的模数转换器（ADC）产生了兴趣，不断地探索它的妙用，DIS.MUSIC3 炫彩音乐显示器就是利用 ADC 来采集音频信号的。突然有一天，我想，利用带有 ADC 功能的单片机可不可以取代传统的数字电路，而让红外线感应开关变得更稳定呢？在网上搜索了半天，没有找到基于单片机的红外线传感器的制作。这个情况对我来说亦好亦坏，好的是如果制作成功，这将又会是我的一项创新制作；坏的是我没有任何可以参考的资料，甚至都不能保证我的想法是否可行。我学习单片机的过程好像是一条正弦波，从基础开始学习，然后开发应用程序，再后来独立完成创新制作，到最后又回



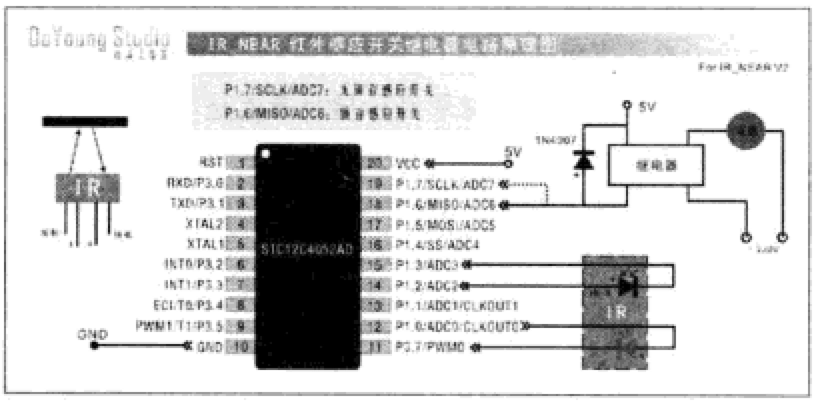
红外反射传感器



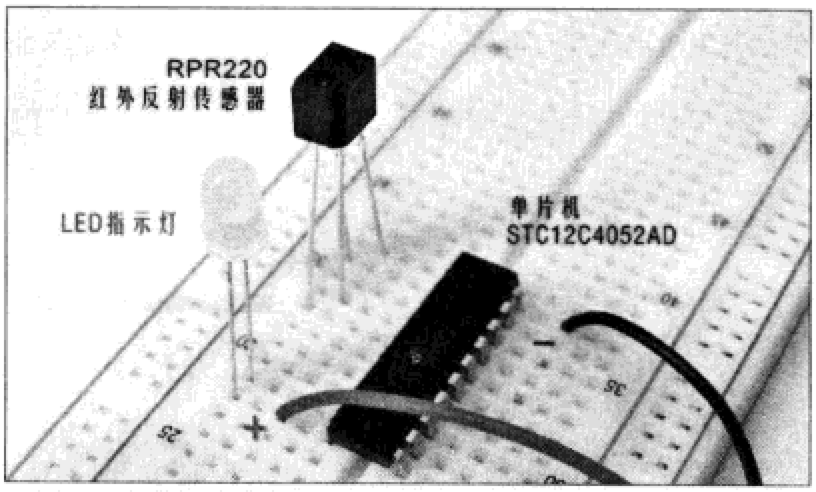
用数字电路实现的红外感应开关电路原理图



基于单片机的红外感应开关电路原理图



红外感应开关控制电器的电路原理图



在面包板上完成的电路制作

到了基础技术问题的研究。接下来的日子里，我做得最多的事是研究红外线的知识。做了 N 多次实验，用不同的红外线发光源来做研究，找到它们的特性和区别。之后开始研究电路制作简单、同时又具备高稳定性的红外感应开关。研究到最后，我自己都惊讶了，原来硬件电路可以如此简单，简单到没有任何多余的元器件——单片机、红外反射传感器、LED 指示灯和电源。在之前的版本里，硬件电路上还需要加一条导线，但是后来我修改了程序算法，这条导线便光荣下岗了。

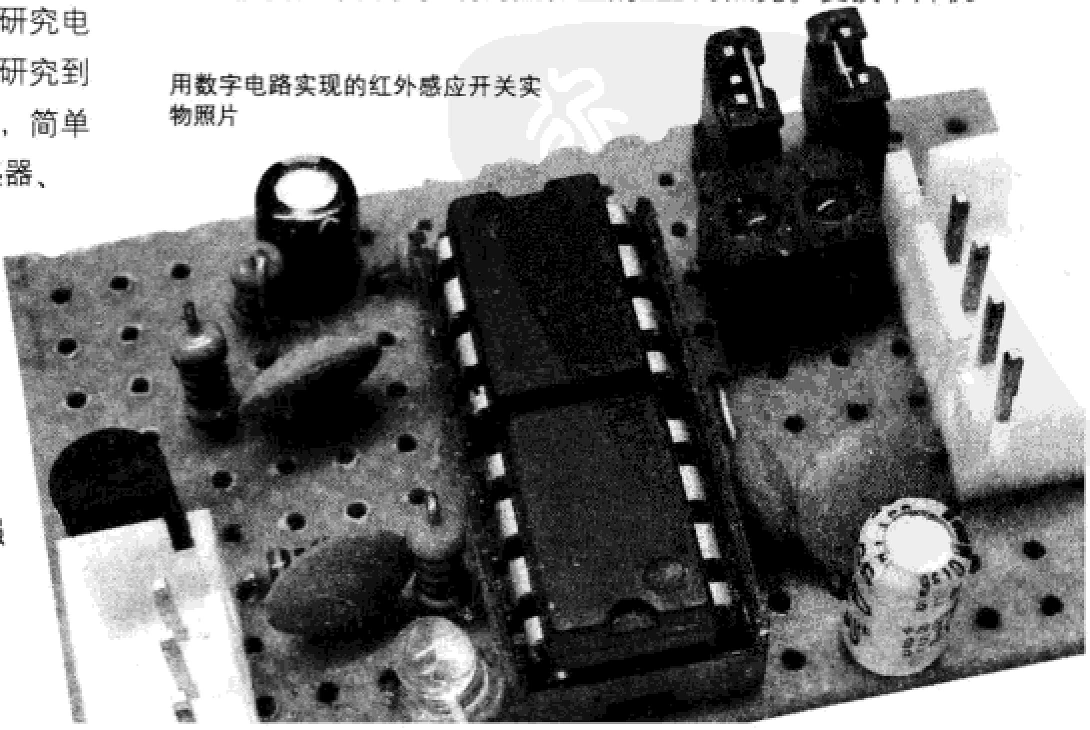
是的，程序算法——一种杀人于无形的利器。如果人类和动物的区别是人类具有理性和智慧的话，那么单片机与数模电路的区别就是单片机具有程序控制。单片机程序精确地处理着时间和状态，软件的强大把硬件成本降到最低，并可以零成本复制。我热爱编程，它给了我无穷的乐趣和超乎想象的创新可能。如果我是即将毕业的大学生，我会把这个创新制作写成论文，让导师喜笑颜开；如果我是专注科普的《无线电》杂志的作者，我就只能用微小的篇章简单地说一说这款制作的基本原理了。但在此之前，先让我们趁着热情未减，亲手制作一下这款基于单片机的红外感应开关，体验它的精巧构思，检验它的抗干扰能力吧。

我是在面包板上搭建的电路，电源采用的是3节5号电池所组成的4.5V直流电源。因为电路非常简单，我还特意为了面包板上的接插布局而定义了IO接口。所以我们连导线都不需要，只要把单片机、红外反射传感器和LED指示灯插在指定的孔洞里就行了。值得注意的问题有：单片机需要使用带有ADC功能的STC12C2052AD系列，烧写程序时，选择使用内部RC振荡器，红外反射传感器没有特定的型号，我使用的是RPR220，你也可以使用其他型号的产品。

在面包板搭建的实验电路上测试，有没有感觉到它的精简和稳定呢？把LED指示灯接在P1.7接口上时，它是无锁存的感应开关，即有反射物体时LED灯亮，物体离开就熄灭，适用于感应式水龙灯。把LED指示灯接在P1.6接口上时，它是锁存感应开关，即感应开关触发1次LED灯亮，2次触发时LED灯灭，适用于感应式电灯开关。如果把LED指示灯改换成继电器，就可以用来控制其他电器了。电器可以是任何你想得到的东西，相信你和我一样，早就有过这样的梦想。现在是实现它的时候了。

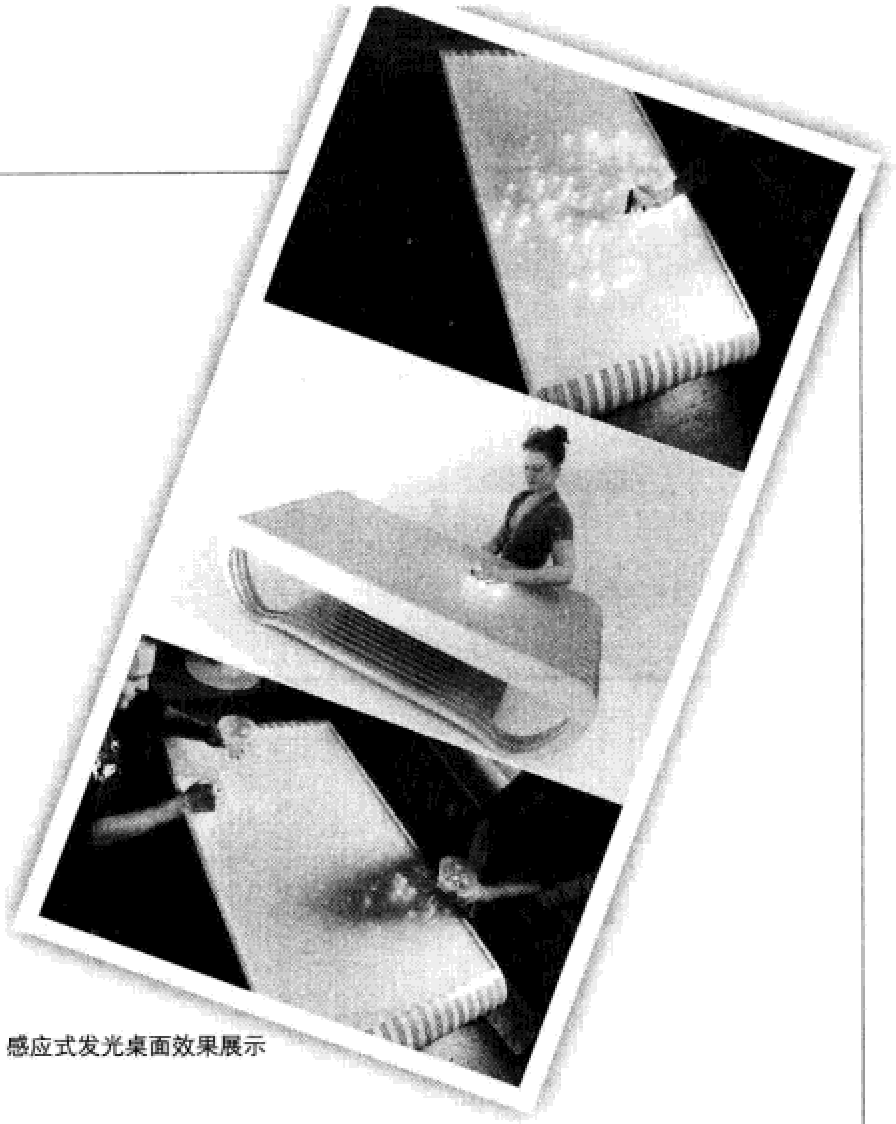
除了实用的开关改装计划，红外感应开关还可以把家居生活变成科幻电影。一张可以感应你的桌子会不会震惊四座呢？普通桌子的上表面嵌着一块磨砂玻璃板，当桌面空空的时候，桌子没有什么特别。可是当我们把手、杯子或报纸放在上面时，相应的位置就会发出光来。原来，玻璃下面安装了数百个LED灯和感应装置，只要桌子感应到有东西放在上面，就会让单片机控制对应位置的LED灯点亮。变换单片机

用数字电路实现的红外感应开关实物照片



的程序还可以玩出更多的花样呢。

如果用我的这款红外感应开关是不是也可以实现这部科幻作品呢？在撰写本文的时候，我也同时在研究这项技术，希望可以用我们常用的单片机来实现，如果真能实现，我再另写文章与各位分享。那桌子、那感应式电灯都将成为你的作品、你的精心之作。



感应式发光桌面效果展示

关键问题与解决之道

从年少时厕所里红外感应开关初体验，到传统电路制作的原理及问题，再到用单片机实现更稳定的感应开关设计，直至感应开关在电器开关和感应桌面上的应用。红外感应开关已经逐渐从厕所走向了客厅，从复杂走向了精简，从波动走向了稳定。那么有谁想知道单片机是怎么做到稳定感应的呢？其中的奥秘又是什么呢？这里就把一些技术实现的基本原理与诸位分享。如果你有更好的方案和改进意见，或者你是这方面资深的专家，欢迎各路英豪与我交流。闲话少说，小弟这里献丑了哈！

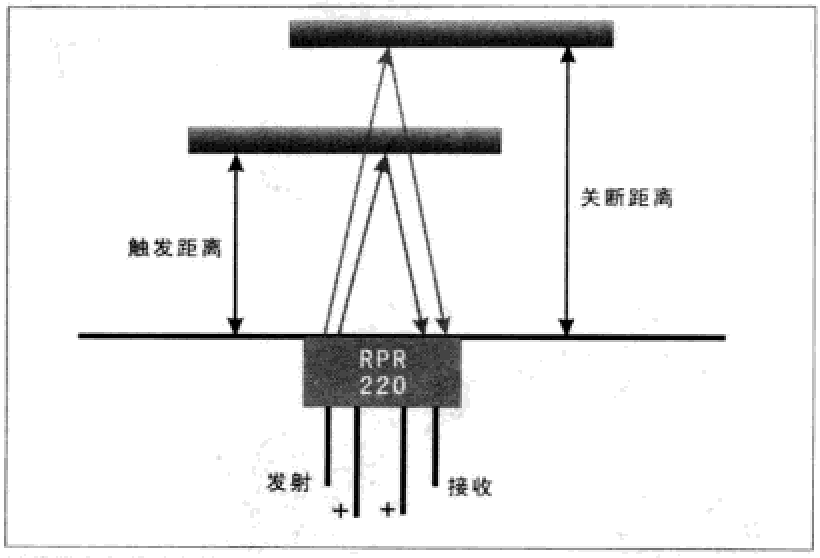
1. 如何去除环境光的干扰？

与之前的调制解调的方式不同，在使用ADC功能之后，另一种解决方案会让测试更有效率。那就是使用双重检测方法。前提条件是，单片机可以控制红外发光二极管的开关。首先，要使用ADC功能读出接在ADC接口上电压的模拟量，数值从0到255（十进制）。红外光敏二极管接收的红外光线强时，ADC读出的数值就大，反之就小。我们要做的就是，控制红外发光二极管在发光时读一次ADC的数值，然后再让红外发光二极管熄灭，再读一次ADC的数值。我们先假设没有其他红外光源的干扰，当红外发光二极管熄灭时，红外光敏二极管应该检测不到光源，ADC读出的数值也应该为0；当红外发光二极管点亮，且没有反射物体时，ADC读出的值也应该很小，接近于为0；当有反射物体时，红外光敏二极管检测到光源，ADC读出的数值会变大。如果存在其他光源的干扰，那么当红外发光二极管熄灭时，也会读到较大的数值。双重检测读出的数值的差距越大，表示干扰光源越弱，反之则越强。我们通过这种双重检测，就可以判断接收到的红外光是不是发射端发出来的了，两次检测的数值之差就是我们需要的最终数值。最终数值将参与下面的算法处理，也是我们判断和处理的关键数据。单片机需要控制红外发光二极管高速开关，以便更快地采集数据。

最终数值 ＝ 红外发光二极管点亮时ADC读出的数值 － 红外发光二极管熄灭时ADC读出的数值

2. 如何解决临界点的感应波动问题？

微微向前一点就触发，微微向后一点就关断，这是临界点问题的困扰。问题的根源在于，触发的临界点和关断的临界点是同一个距离。只要在基于单片机系统中把这两个临界点分开，这个问题就可迎刃而解。我们知道，单片机需要处理的数据是“最终数值”，它是红外发光二极管开、关状态时ADC读出的数值之差。最终数值也是一个从0到255之间不断变化的变量。反射物体离传感器越近，“最终数值”就越大。如果我们在程序里设置，当“最终数值”大于某一值时（例如200）就触发开关，小于这一值时就关断开关，那么这样编程的效果就是单一临界点的不稳定开关。单片机既然都可以模仿不稳定的开关，自然也很容易创造稳定的开关了！只要写一下程序的设置就可以很轻松地让它变得稳定。双临界点的设计只需要两个数值的条件判断：当“最终数值”大于某一值时（例如200）就触发开关，当“最终数值”小于另一个数值时（例如150）就关断开关。这样一来，在150和200之间就会创建一块中间区域。当反射物体在这个区域前后移动时，开关仍保持其原来的状态，或判断、或触发。这种双临界点的设计，其实是给反射物体一个活动空间，对反射物体的稳定性要求降低了，系统状态就自然稳定了下来。在实际调试过程中，可以根据应用的需要修改双临界点的两个数值。比如做自动水龙头时，手的移动范围较大，所以应该留出较大的活动区域。如果是做自动寻迹小车的传感器，则可以用较小的活动区域，甚至改用单临界点来实现。双临界点的设计是有启发性的，你可以利用此设计来做更多的事情，或者用在其他传感器的稳定性设计之中。



双临界点原理示意图

```
RAM_H = Read_ADC; //读出LED亮时ADC端口的值
RAM_L = Read_ADC; //读出LED灭时ADC端口的值
RAM_H = RAM_H - RAM_L; //取2次检测值之差，避开环境光干扰
if(RAM_H > 0x06){ //开启时的距离（应该小于关闭时的距离）
CON++;  //计数加1
CON2 = 0;
if(CON > 20){ //连续20次检测，以避开干扰
CON = 0;
LED_Y = 0; //LED指示灯点亮
}
}
if(RAM_H < 0x03){ //关闭时的距离
CON2++;
CON = 0;
if(CON2 > 20){
CON2 = 0;
LED_Y = 1; //LED指示灯熄灭
}
}
```

“最终数值”、双临界点和20次连续检测的程序部分

3. 如何增加感应的成功率和可靠性？

“最终数值”处理和双临界点设计都可以增加系统的稳定性。在多次数据采集中，出现几次失败和误差是很正常的事情。但如果这些误差左右了开关的状态，那么这种失败又由谁来负责呢？我写的文章错别字很多，杂志社的编辑老师都说我无药可救了。当你看到本文时，你要知道一件事，那就是已经有好几位编辑老师瞪大眼睛帮我改掉了文中的错别字。最后大家看到的才是精美而通顺的文章。在感谢编辑老师的同时，我也要为我们的红外感应开关配备几位“编辑老师”，给采集到的数据把关。一旦出现错误，就放弃当前的数据，重新采集，这种设计其实就是一种冗余。我在程序中设计了一段循环检测语句，连续20次检测和判断采集到的数据，如果20次中有1次误差就马上放弃当前的所有数据，重新检测。连续20次检测已经算是很稳定的了，当然你也可以为了更稳定而改用连续50次、100次的检测，但是系统的反应速度会变慢，灵敏度也会下降。灵敏度和稳定度之间的矛盾是刚性的，在实际测试中找到适合目标系统的检测次数就可以了。“最终数值”、双临界点和20次连续检测听上去好像是很复杂的事情，可是在程序里只是很简单的几条语句。设计的重点不在于程序的复杂性，而是整个系统的设计思路。下面列出一段关键程序部分与大家分享，这个简单的程序包含了上述的3种抗干扰设计。

4. 如何增大感应距离？

经过实验证明，基于单片机的红外传感器的感应距离和单片机的ADC精度、双临界点数值、红外发光二极管的功率、红外光敏二极管的灵敏度，均和反射物体的反光效果有关，一般的感应距离不会超过20cm。不过，对于感应开关的设计已经足够了。要想增加感应距离，可以对以下几方面进行改进。只是，更远的感应距离反而会让系统产生许多不确定因素，效果反而不佳。如果在某些特殊情况下还需要更远的传送距离，我们就要用新的软硬件方案来应对了。

☆提高ADC精度，例如将8位ADC换成10位或12位ADC。

☆将双临界点的数值设置得更小。

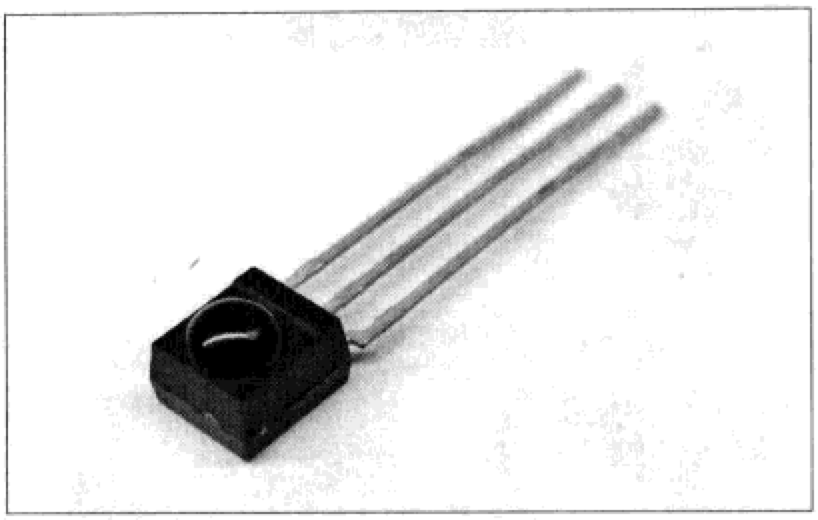
☆用 LED 驱动电路提高红外发光二极管的功率（即提高亮度）。

☆为红外光敏二极管一端加装信号放大电路。

☆尽量使用反光效果好的反射物体（如白纸、镜面）。

5. 如何进一步提升抗干扰能力？

最后一个问题，是同频环境光的干扰。在我的实验中，还没有出现过这样的问题，它只存在于理论推理中。但这种干扰的可能性并不为0，所以有必须说明一下。所谓的同频干扰，就是假设红外感应开关的周围正好存在这么一个红外光源，它也按一定的频率点亮和熄灭，而这一频率正好和红外感应开关中红外发光二极管的亮、灭频率一致，且周期相同。这种巧合并不只是彩票头奖的幸运观众才能遇见的，当多个红外感应开关在较近的距离内同时使用时，问题就自然会出现。如果它们之间的距离不能改变，那就只有用跳频的方法来解决了。跳频技术在移动电话和无绳电话机上已经成为必备的功能，为了防止窃听或当某一频道被占用时，电话



TSOP1838

机会自动切换到别的频道，让通信更稳定、可靠。对于红外感应开关来说，跳频并没有那么复杂，只要在程序中不断改变红外发光二极管的亮、灭时间，用不同的频率去检测，其他干扰光源也以相同频率跳变的机会就少之又少了，再加上前面介绍的20次连续检测功能，再遇见干扰的可能性就几乎为0了。

增加以上5项功能，系统的稳定性达到了巅峰，而如此稳定的设计却丝毫没有改变硬件制作。仍然是那几种元器件，稳定与否全看程序的设计。单片机就是这么神奇，创造优良性能于无形之中，带你体验精简设计的内在之力。

更远距离的对射传感器方案

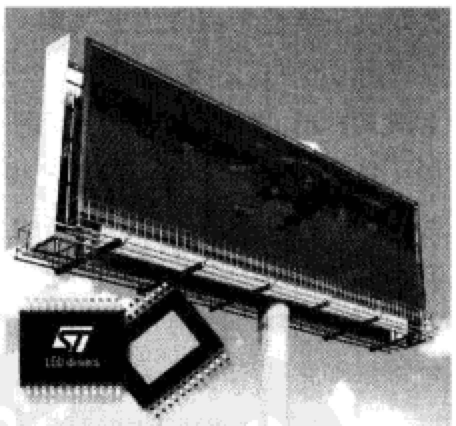
还有一种情况，是应用上的需要。如果使用红外感应开关来制作赛跑的电子终点线，将红外发射管和接收管分别安装在跑道的两端会是更好的解决方案。平时终点线上没有障碍物，发射的红外信号轻松地被接收。当有人通过终点线时，人的身体挡住了红外光的路线，接收端收不到信号而触发开关，完成比赛的计时。同样的设计还可以用作防盗报警器。这种对射式的传感器需要很远的传送距离，一般需要2~5m。如果是这种应用，就需要改变软硬件方案，38kHz调制红外线不是很好的解决方案。利用单片机产生38kHz的调制红外线信号，接收端使用具有集信号解调、放大和输出于一体的红外传感器TSOP1838。电路设计同样精简，而对射有效距离可以达到7~10m。相关的技术正在被我研究着，这里算是抛砖引玉，希望给正在研究此技术的朋友一点帮助。

发挥你的才能，把这项技术运用到生活之中。制作自动干手机、感应水龙头、感应电灯开关、智能寻迹小车、防盗报警器、感应桌面、比赛计时器等。基于单片机的红外感应开关将成为你电子竞赛、产品设计、趣味DIY的必备佳品。这就是红外感应开关的创新制作，可以简单稳定地感应你。

ST新近推出一款高性能单封装的模拟陀螺仪LYPR540AH

ST新近推出一款高性能单封装的模拟陀螺仪LYPR540AH，可沿三个正交轴精确测量角速度。这款3轴陀螺仪可以用于各种消费电子产品，使其具有高精度三维手势和动作识别功能。LYPR540AH 可进行360° 角速度检测，与一个3轴加速计配合使用，能实现追踪并提供人、车辆以及其他物体的运动类型、速度和方向的全部信息。每个轴都能同时提供两个独立的输出信号：用于检测高精度慢动作的400dps全量程数值，和用于检测速度非常快的手势和动作的1600dps全量程数值。

意法半导体推出新系列高精度LED驱动器



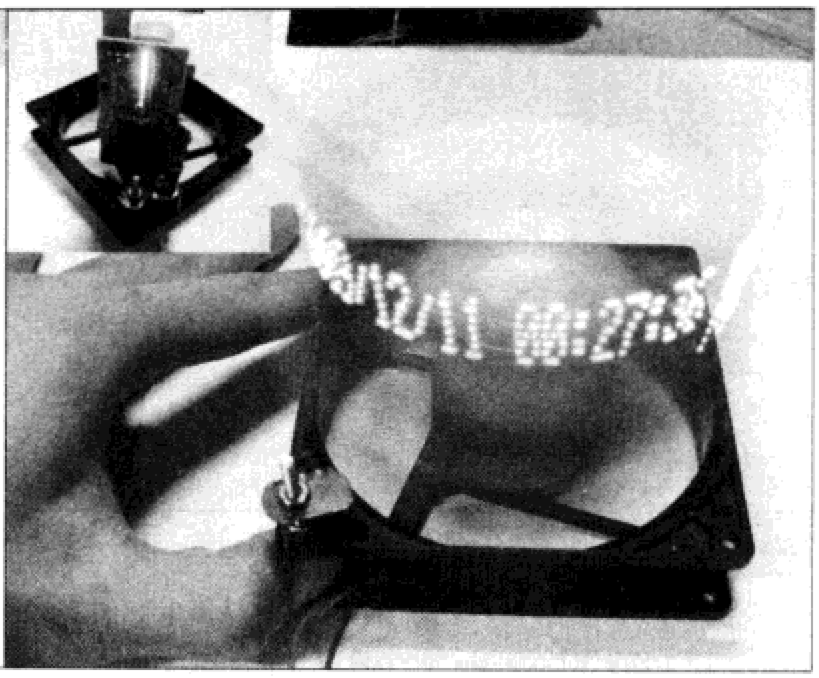
意法半导体推出新系列高精度LED驱动器STP16CPP05、STP16CPPS05、STP16DPP05和STP16DPPS05，新产品具有自动省电功能，用于电子标牌如交通路标、灯箱广告、体育场大屏幕、电池或太阳能供电标牌等类似的显示屏设备，通过确保整个可视区域的亮度一致性，为观众提供更清晰的视觉感受。16 路 LED 驱动芯片，驱动电流 3m ~ 40mA，拥有自动省电专利技术以及内置 LED 检错功能。当没有 LED 驱动数据时，自动省电专利技术让驱动器独立关断电源，而不需要 MCU 省电算法支持。

登陆意法半导体官方网站：

http://www.stmicroelectronics.com.cn/ 可申请免费样片

◎杜灿鸿

用贴片LED制作的旋转屏数字钟



流水灯的另类玩法：LED旋转屏可只采用一排贴片LED，令其高速旋转，利用视觉残留效应，形成高分辨率的点阵屏，能显示字符、汉字，甚至图案，而且图案看起来还有悬浮于空中的透明效果，非常炫目。再加上单片机控制，又可成为一款独特的数字钟。

笔者采用AT89S52单片机配合少量外围器件制作了这个LED旋转屏，整个制作包括LED流水灯、同步光电门、红外接收、电源管理4大部分。如果读者熟悉AVR单片机，笔者强烈建议使用AVR单片机（如Atmega8）代替AT89S52进行制作，具体缘由见下文。在这里先把整机硬件电路图贴出来，如图1所示。

设计思路

1. 流水灯LED数目的确定

电路核心是一排流水灯，一般由 LED 构成，LED 的个数取决于要显示点阵的分辨率，如果只要显示 ASCII 码，可以只用 5 个 LED，因为任何一个 ASCII 码均可以只用 5×8 的点阵来显示。如果还要显示任意中文，同理，至少需要一个 12×16 的点阵，这意味着至少需要 12 个 LED。以此类推，点阵的垂直分辨率越高，所需的 LED 数目就越多，受 I/O 口等因素的限制，手工制作的 LED 旋转屏一般不会超过 24 个 LED，不过通过高速旋转，能够产生高达 24×300 的等效点阵的效果哦！

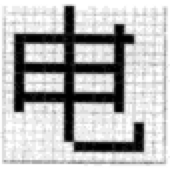
由此可见，如果希望电路越简单越好，但又希望点阵屏中英文均能显示，采用12个LED是最佳选择，采用16个LED也不错，这样恰好占用2组I/O口。12个LED通过旋转能形成超过12×100分辨率的点阵，显示ASCII码时用5×8点阵，只使用其中的VD1～VD8的LED，显示汉字用12×16点阵，所有LED全部使用，如图2所示。

2. 初步确定分辨率和LED的选型

旋转屏的分辨率将决定显示内容的多少，分辨率越高，可显示字符数越多，而且字符精细好看。分辨率的大小在很大程度上取决于LED的选择，LED的大小和电性能都会影响分辨率，如果LED选择不当，会使旋转屏的效果大打折扣。

首先说明，如果旋转屏的分辨率为200，即12×200（如无特殊说明，分辨率指旋转后的等效点阵的水平点数，垂直分辨率均默认为12，下同）。即1排12个LED的流水灯，随着电动机转动一周，能形成200个闪亮的点。我们不

LED旋转屏的简单原理



普通LED点阵屏

普通的LED点阵屏，以16×16点阵为例，显示字符时进行快速行扫描或列扫描，利用视觉残留而形成文字，扫描显示的一个特点就是任何时刻只有一列LED发光，从左边起，控制每一列的位选端，依次从首列逐列显示到末列。旋转LED点阵屏充分利用这个特点，只采用一列LED，通过旋转改变LED的位置来模拟点阵的列扫描，而在电路上，LED旋转屏与流水灯十分相似，可以说是流水灯的高级玩法。

LED旋转形成了一个等效点阵，控制方法与点阵十分相似。 LED旋转屏主要有2种，一种是平面型，另一种是圆柱型，平面型显示时会使字符变形，圆柱型则没有这个问题，本文制作的是圆柱型的LED旋转屏，题图展示的正是圆柱型。不过，LED旋转屏与点阵毕竟存在区别，最大的区别在于LED旋转屏利用旋转来模拟扫描，因此扫描速度与旋转速度有关，要达到与点阵同样的效果，要做好同步处理。另一方面，要获得良好的显示效果，还要从硬件设计上下功夫。

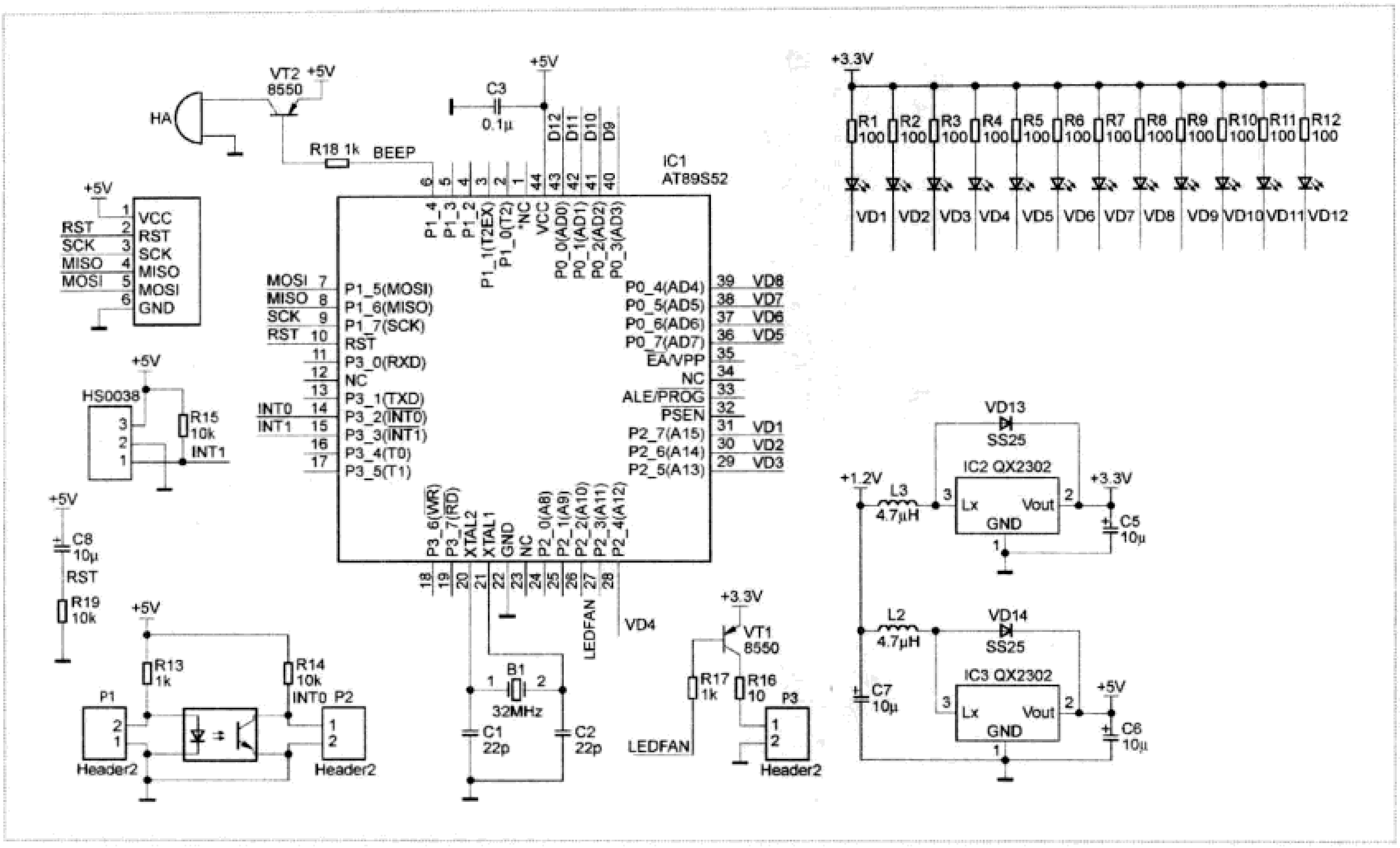


图1 整机硬件电路图

妨认为，通过旋转，屏上等效有12×200个LED，如同一个12×200的普通点阵屏卷曲成一圈形成的。

先说LED的体积大小对分辨率的影响。笔者制作的旋转屏，LED转一圈所形成的圆半径约4cm，周长约25cm。如果用普通Φ2.5mm的LED，这一圈只能填充100(250/2.5)个LED，也就是说至多填充100个LED，分辨率最高也就是12×100，要提高填充数目，只能采用更小体积的LED。另一方面，LED的体积越小，所形成的发光点也就越小，这样形成的图案的线条就小，更加精细好看。所以，强烈建议采用贴片LED进行制作，较直插LED能够大大增加分辨率。

当然，如果工艺限制无法采用贴片 LED 进行制作，用直插也无妨，尽量采用小体积的 LED，即使如此，要获得 200 的分辨率，估计整个装置差不多会跟小型电饭煲一样大，呵呵。

LED的电性能也制约分辨率。按照分辨率为200估计，每个等效LED点的亮度相当于用0.5%（1/200）的占空比电流驱动一颗静止不动的LED所发出的亮度，这会有两个问题：

（1）分辨率太高时，显示屏的亮度下降，这是驱动每个等效 LED 点的占空比下降引起的必然后果。由于单片机电流驱动能力和 LED 所能承受的电流限制，一般不超过 20mA，0.5% 占空比下，LED 的平均电流只有 0.1mA，肯定会引起亮度下降。

（2）LED 余辉的影响。LED 电流后，撤掉电流，LED 不是马上熄灭，而是经过一段时间慢慢熄灭，这就是 LED 的余辉现象，驱动电流峰值越大，余辉越严重。受余辉影响，分辨率太高时，LED 来不及熄灭，相邻的点无法分辨，就限制了分辨率的无限提高。

以上2个问题直接决定了旋转LED屏的最高分辨率，它们跟旋转半径是没有关系的，就算把装置做得跟电风扇一样大，也无济于事。

业余情况下难以了解所用LED的余辉时间，采用贴片的LED能够较好地解决这个问题，贴片LED体积小，发光点集中，只要微小的电流，就能够让它发光，并引起视觉冲击。

综合LED体积和电性能对分辨率的影响，笔者采用了0603封装的贴片LED（据说是市场上最小的），并选择红色LED，理由是眼睛对红色敏感，看起来更亮。最终证明这样做是正确的，实际分辨率可以达到300。如图2所示，12个0603的红色LED，每个LED串联一个75Ω的0805限流电阻，0603贴片LED的尺寸是1.6mm×0.8mm。

3. 同步处理

这里先简单说明旋转速度的选择和其对显示效果的影响。由于视觉暂留效应，快速切换的图片看起来就像“动

画”，动画效果与每秒的图片数（即帧数）有关。对一般人来说，10帧/s就能感觉出动画效果，但闪烁严重；30帧/s就能看到无闪烁的动画，但不够流畅；达到50帧/s时，肉眼感觉就非常流畅，与实际无异。

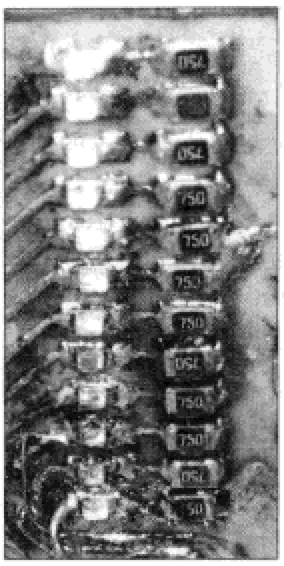


图2 0805的贴片电阻和0603的贴片LED

LED旋转屏中，每转一圈，相当于完整显示了“一帧”的图案，电动机转速相当于帧数，因此，电动机转速最好设置在40转/s左右，也就是2400r/min，采用电脑的散热风扇很容易达到这个要求，笔者用的正是主机的散热风扇。但转速不能太大，帧数太大会大大增加MCU负担，在40帧/s时，显示效果上已经看不到闪烁，字符变化也能流畅。

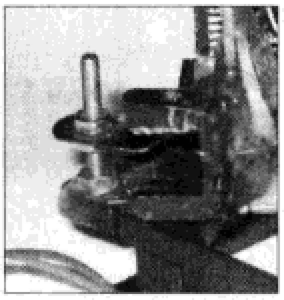


图3 用光电门做同步检测

所谓同步设计，就是要让旋转屏每一帧显示的内容都在相同的位置，这时空间上看到的就是连续稳定的图案。电动机转速一般不会大范围波动，让每一帧的显示起点相同，即使每一帧图案处于相同位置，便可实现同步显示。

在电路中放置传感器，当LED旋转到某一个固定位置时传感器触发，从第一列开始把一整屏的信息完整显示出来，此时电动机仍然未转完一圈，程序上等待，直到下一个触发信号出现时再显示第二帧，这样做就保证了每一帧都从相同的起点开始显示，图案自然稳定。只要电机转速稳定，图案就稳定，并且与电动机的转速无关，转速快字符就变大，转速小字符就缩小，但图案始终保持稳定。

比较流行的做法是采用霍尔传感器，在LED板子上放一个霍尔传感器，在电动机的外壳上放一个小磁铁，当霍尔传感器转到磁铁上方时，便产生了一个触发信号。不过笔者没有采用这种方法，笔者使用了光电开关，对应图1中的IC1，把光电门安装在电路板上，在电动机边上合适地放置一个挡光片，当光电门转动至挡光片所在的位置时，便产生一个触发脉冲，由此也可以做同步检测，结构见图3。

4. 统筹全局

要DIY旋转LED屏，还要解决最后一个麻烦的问题——供电问题。单片机、LED等电路必须安装在高速旋转的电动机上面，无法采用电线进行供电，使系统供电变得极为麻烦。

解决方法一：通过制作两个环形电刷，固定在电动机的转轴上面，外部电源的正负极分别与它们接触，这样就能实现外部供电，这是比较理想的方案，不过制作就很麻烦了，取决于你的工艺水平。

解决方法二：在电路板上面做一个感应线圈，电机上放一块强磁铁，电机转动时电磁感应来获取电能，这种方法争议较大，估计线圈会很夸张。

解决方法三：电池内置法，笔者采用了这种方法。电池放在电路上面，在电动机作用下随着电路板共同转动，自然就解决供电问题。制作难度低，只要把电池固定好，调节旋转屏平衡就OK，容易DIY。当然电池寿命是个大问题。

为了尽量降低电动机的负荷，笔者只采用了1节1.2V的镍氢电池进行供电，或许采用1节3.7V的锂电池更好。1节镍氢电池只能提供1.2V的工作电压，51单片机要5V的电源，LED至少需要2V的驱动电压，因此一定要进行升压，笔者采用了一款便宜的升压芯片QX2302，它能将0.8V以上的电压提升到5V。该芯片非常适合将一节镍氢电池的电压升高到合适的范围，而且市场价格也不贵，零购价格在1元/个以下。这里选择2片芯片，一片将1.2V提升到3.3V为LED供电，一片将1.2V提升到5.0V为MCU及其外围供电。

在这个LED旋转屏中，1.2V升压到5V 给AT89S52供电，另外还独立设置了一路升压到3.3V给LED供电，这样做目的是降低LED驱动的功耗，延长电池寿命。具体电路见图1右下方。如果采用AVR单片机，比如Atmega8L，最低工作电压为2.7V，则可以统一采用3.3V供电，并且AVR单片机的功耗比

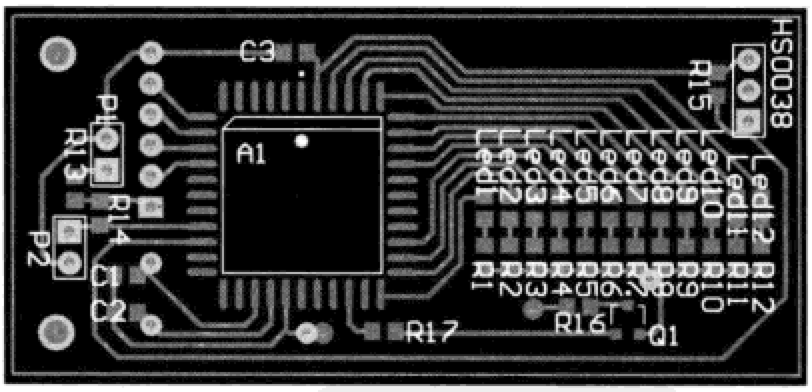


图4 TOP层PCB

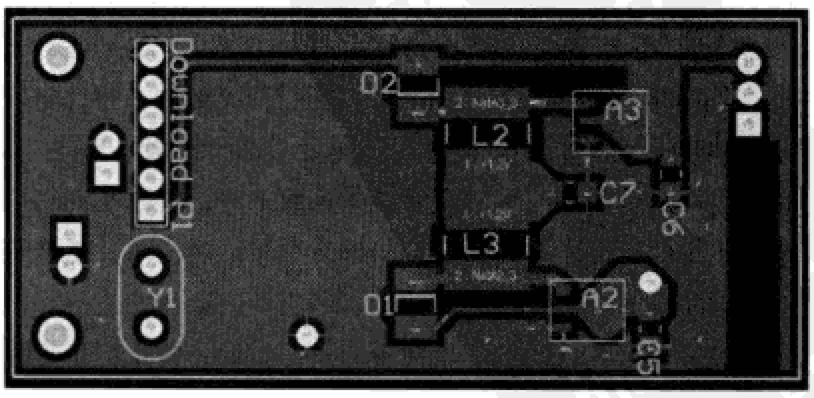


图5 BOTTOM层PCB

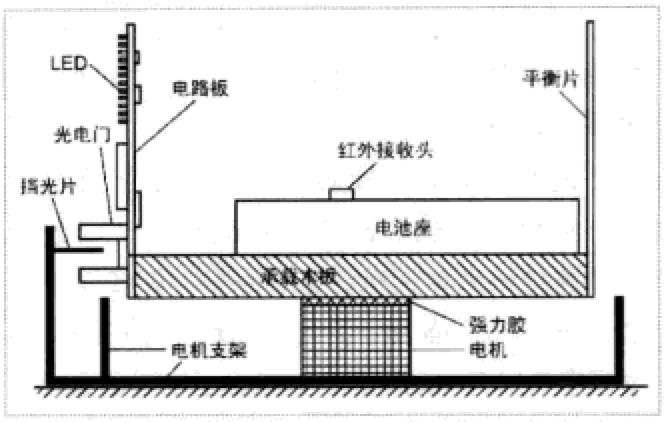


图6 装配结构图

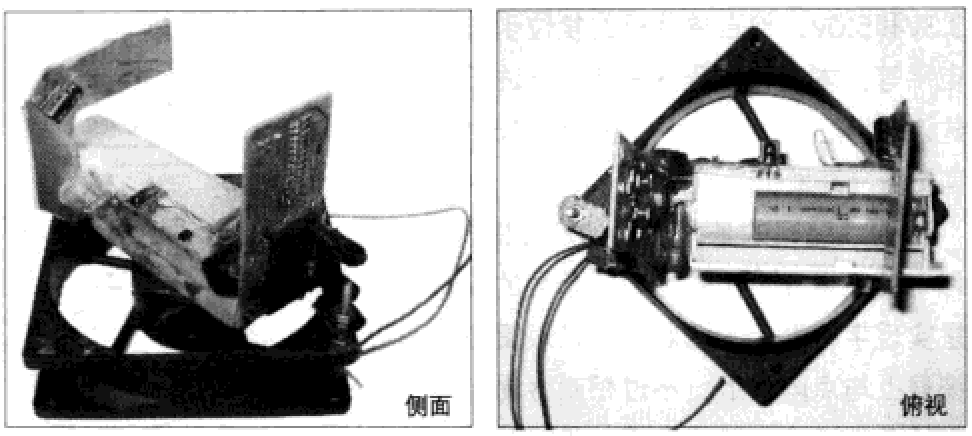


图7 装配好的整机图

51单片机更低，这样就能进一步降低功耗，延长电池寿命，这就是采用AVR单片机进行制作的最大优势。当然，采用锂电池+Atmega8L，无需升压直接供电，更方便。

LED旋转屏显示时是无法使用按键对单片机进行控制的，需要控制功能时，只能采用遥控，无线遥控效果不错，但红外遥控会简单很多，而且可以采用市场上容易买到的成品遥控器，而省去制作控制器的麻烦，读者可以根据自己的需要进行选择。笔者采用了红外遥控，接收端采用一体化的红外接受头HS0038捕捉空间的红外信号，占用单片机的外部中断1进行红外解码。

另外，笔者还在板子上面放了一个蜂鸣器，用VT2控制，并放置了ISP下载端口，方便软件调试。本电路无需复位，但复位RC不可无，R19和C8构成复位RC电路，省略可能造成系统不稳定,甚至不工作。

图1中还有一个VT1，VT1可用来控制一个LED（不是构成旋转屏的那些），这个LED可以照射到电动机上面的光电元件，可以通过光电元件的信号来实现这样的功能：

“遥控关机——单片机捕捉到信号、解码——通过 VT1点亮 LED——电动机上的光电器件检测到光信号——通过外部电路切断电动机供电——旋转屏停转——单片机休眠”，开机也可以有同样的过程，这样这个旋转屏功能就更加完善。

硬件制作

1. 制作电路

由于电路板高速旋转，除了要做好平衡，还要尽量地缩小电路板的体积和重量，这样装置比较小，也容易进行高速旋转。制作电路时，除了少数插件外，全部采用贴片工艺进行制作，为了减小电路板体积，笔者使用双面PCB进行布线，图4、图5是笔者绘制的PCB图，供参考。

PCB正面放置AT89S52、12个LED等，背面主要放置晶振、升压电路，整个电路板尺寸为64 mm ×30mm，读者可以根据这个布局自行画PCB，建议画PCB前先确定整机的装配结构，可以参考图6。手工制作双面PCB需要一定的经验，将Top Layer镜像打印，然后和Bottom Layer对齐，把裁好尺寸、打磨好的双面覆铜板放在两层纸中间，确保对齐后进行热转印。

2. 装配结构

笔者确定圆柱型旋转屏的整机结构大致如图6所示。

找一个合适的电脑主机散热器的风扇，一般是12V、0.75A，也有0.15A的，这里最好选0.75A的大功率散热风扇，因为电机负荷比较大，小功率风扇可能带不动，然后把风扇的扇叶剪掉（舍不得剪也可以保留，耗电稍大而已），剩下转子和支架，然后按照图6的结构进行“叠罗汉”。找一块大小合适的硬木板，长度等于旋转屏直径，宽度等于电路板的宽度，按照图6把电路板固定在木板上面，至少用2根1cm长的自攻螺丝进行固定，否则高速旋转时电路板可能甩飞，安装时注意光电门的位置。

然后把木板用强力胶粘在电机上面，这个环节很重要，粘合强度一定要足够高，笔者用热熔胶大面积粘合，效果还可以，用AB胶也不错。

然后把电池座、平衡片固定在木板上面，安装电池座时，一定要连同电池放在里面，这样才能调节平衡，平衡片可以用覆铜板，这个环节最重要的是平衡，不断调节电池座的位置和平衡片，一定要调到最佳平衡状态，这需要耐心和运气。

挡光片的安装比较容易，不过位置要调好，恰好能把光电门的光“切断”，又不能碰到光电门。红外接收头本来是焊接在电路板上面的，笔者后来调试发现，接收头高速旋转会使接收到的信号误码率较高，于是把接收头移到旋转中心，问题有所改善。装配好的整机如图7所示。

注入灵魂——编写软件

整机装配好后，上电调试，写一个流水灯的程序并烧写到单片机，如果12个LED确实能“流水”，那恭喜你，硬件制作大体成功了！如果出现问题，检查升压电路是否输出

3.3V和5.0V，检查单片机的复位引脚是不是低电平等。本制作的程序采用C51进行编写，不建议采用汇编，因为这个系统比较庞大，用C语言更容易开发。

软件编写的基本思想如流程图8所示。软件中要注意几个比较重要的函数的编写。一个是实现字符显示的函数，也是最重要的函数，编程上与点阵接近，不过相对容易一些。首先必须获得字库，如无字模软件，推荐一款LCD汉字取模软件，笔者使用感觉良好，下载地址：http://dgdz.cic.tsinghua.edu.cn/dgdz/detail.jsp?seq=576&boardid=2601。

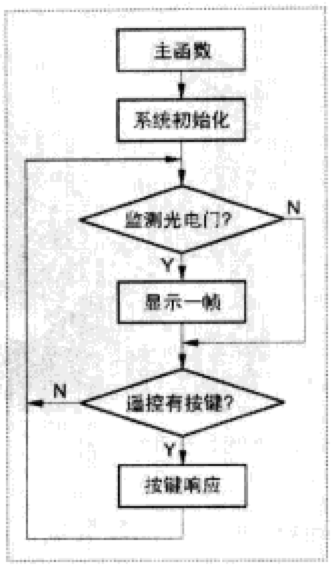


图8 编程思路

另一个是红外遥控解码函数，红外遥控的解码，关键在于了解红外遥控信号的规律，笔者采用KD-29遥控器。

还有，笔者在旋转屏上实现了字符显示后，利用单片机内部定时器编写了一个数字钟，这样一来单片机任务有点多，即使使用了22.1184MHz 的晶振，仍然感觉单片机速度不够，显示字符时有抖动现象，这是由于中断函数内部指令稍多，导致延时函数延时不准引起的。

后来笔者用定时器来产生精密延时，效果好了一些，不过仍然有微微抖动，如果用AVR单片机，由于AVR单片机的速度比51单片机快10倍，这个问题就能很好地解决了，这也是笔者推荐使用Atmega8进行制作的原因。

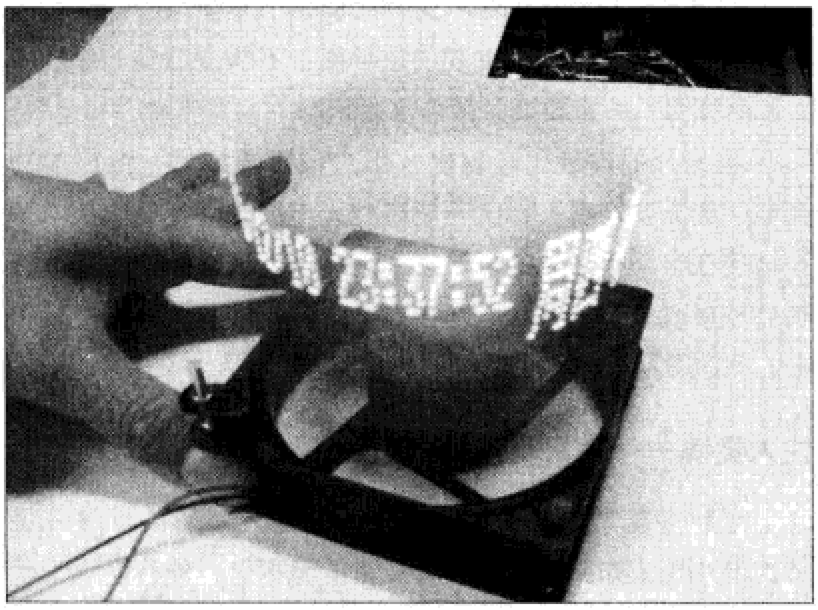
这样的一个旋转屏也可以用来显示图案，但因为垂直分辨率不够多，显示普通小图标就可以了，笔者用它来显示静音符号，还有开闹钟的符号。显示图标时有一个小窍门，就是用文字来索引图标，在字库生成软件中，都可以自定义字模，我们把图案用某个用不到汉字来表示，显示的时候，只要显示这个汉字，它对应的图案就显示出来了，十分方便。软件问题智者见智，仁者见仁，读者也可以自行设计软件系统，笔者把源代码全部公开，可以到本刊网站www.radio.com.cn上下载，供读者参考。本制作元件清单见附表。

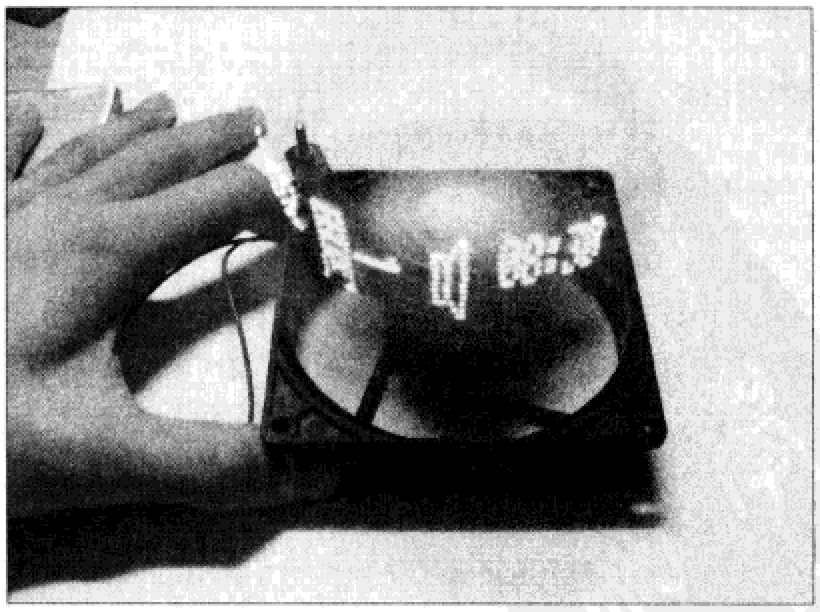
附表

型号	封装	数量
AT89S52	QFP贴片封装	1
红色LED	0603贴片封装	12
电阻75Ω	0805贴片封装	12
电阻10kΩ	0805贴片封装	4
电阻1kΩ	0805贴片封装	1
QX2302升压芯片	SOT-89贴片封装	3.3V和5.0V各1片
4.7~10×H功率电感	贴片	2
SS25肖特基二极管	贴片	2
10μF钽电容	1210贴片封装	3
0.1μF陶瓷电容	0805贴片封装	3
22pF陶瓷电容	0805贴片封装	2
晶振22.1184MHz	直插	1
5V蜂鸣器	直插	1
HS0038红外接收头	直插	1
KD-29红外遥控器		1
光电门	直插	1
S8550	sot-23贴片	2
开关	直插	1
5号电池座	1位	1
镍氢电池	5号	1
电脑主机风扇	12V/0.75A	1
排针、双面覆铜板		若干

结语

这个LED旋转屏的DIY就交流到这里，硬件的制作需要不断提高动手能力才能做得更精致，软件的编写要经历无数调试过程才能达到最终要求，DIY过程是艰辛的，但是收获了成果时的那份喜悦只有经历过才知道，这里再贴两张效果图。


显示时分秒、周几，中英均能显示


闹钟时间08：30，喇叭图标表示闹钟“开”

手把手带你做单片机控制的多通道无线遥控装置 3

◎付国迎

配套4+4无线接收板组装过程

第1步：将三组双排插针焊接端缩回大约1.5mm，使其插进线路板后与板面平齐（见图1）。如果插针高出来（见图2）会影响日后的胶封，环氧胶不能将高出的部分包严。将双排针插正、焊锡流平即可。

第2步：将插针向上，按PCB图焊好正面的所有电阻、电容。其中，石英晶体与表面贴片LED指示灯因不耐热暂时不焊（见图3）。焊好后翻过来，再将背面单片机和电阻焊好（见图4），最后再焊上石英晶体与表面贴装的LED指示灯，灯的正负极不能接错，且焊接时间不能超过3s，以防止过热损坏器件（见图5）。

第3步：在强光灯下用放大镜反复查看，所有的焊盘是否有虚焊及连焊，如有问题要仔细修理好。

第4步：接收板的工作电源为5V/DC，双排针引脚定义见图6。先做一个临时的二线插口，插在第一排（见图7）。取一台直流电源将电压调到5V并串上一只电流表，接通电源时电流在16mA左右。如果超过此值太多要立刻断电，考虑是否有连焊、错焊的问题存在，对症修理。

无线发射板、接收板的调试过程

第1步：取示波器一台，X轴调到0.5ms/格，Y轴调到1V/格，设同步为自动，连接10:1衰减探头，观察LX、RX、RY这3个输出针上的正脉冲宽度应为1.5ms（见图8），LY输出针上应为1ms宽，这些正脉冲Y轴高度均为5Vp-p或接近电源电压。

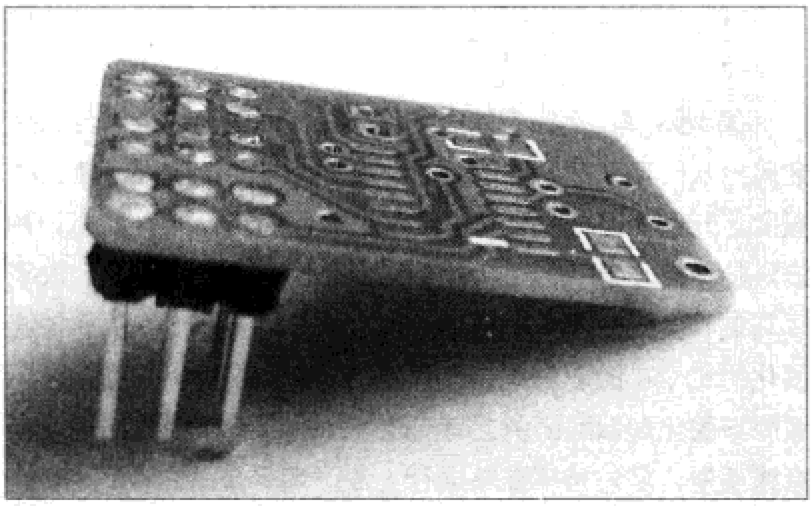


图1 排针焊接面与电路板平齐

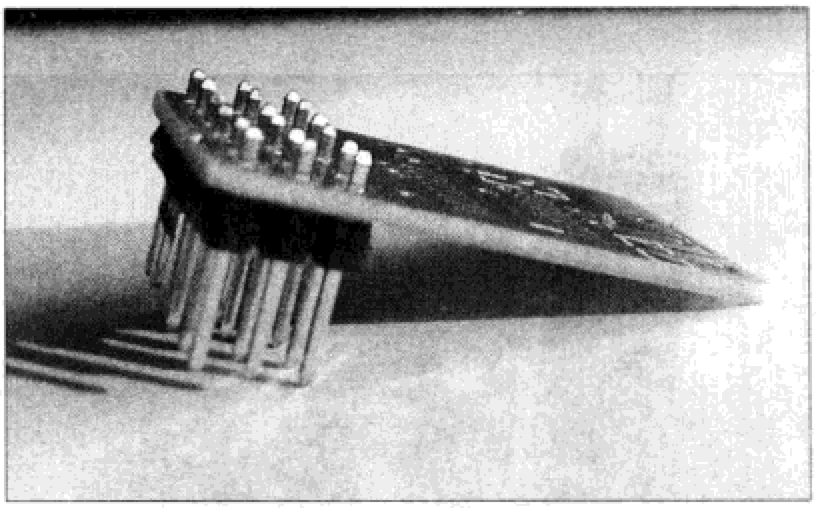


图2 排针焊接面高出电路板

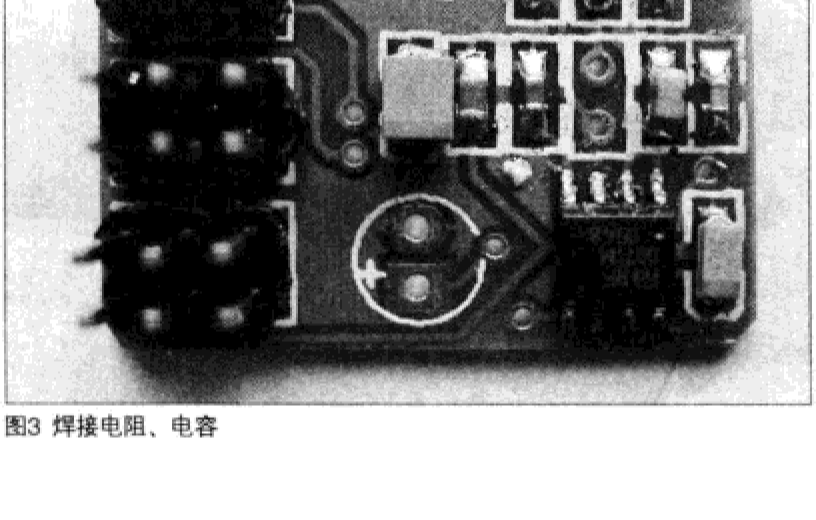


图3 焊接电阻、电容

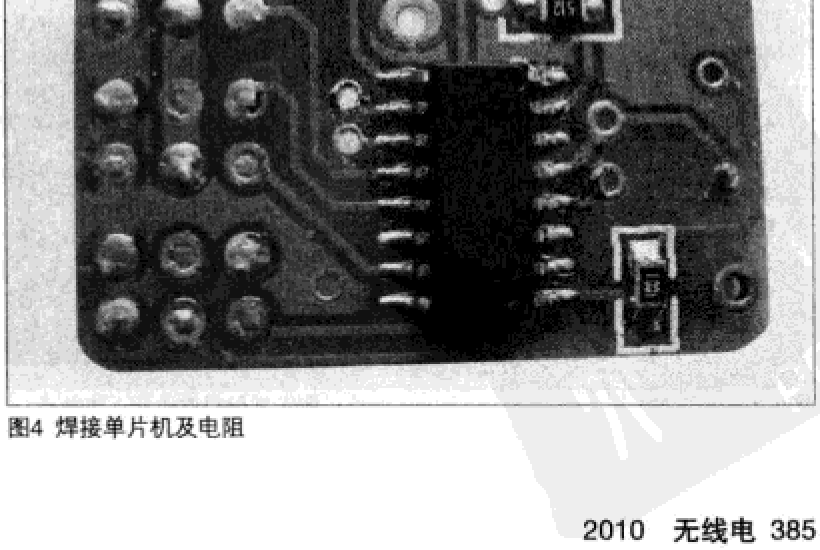


图4 焊接单片机及电阻

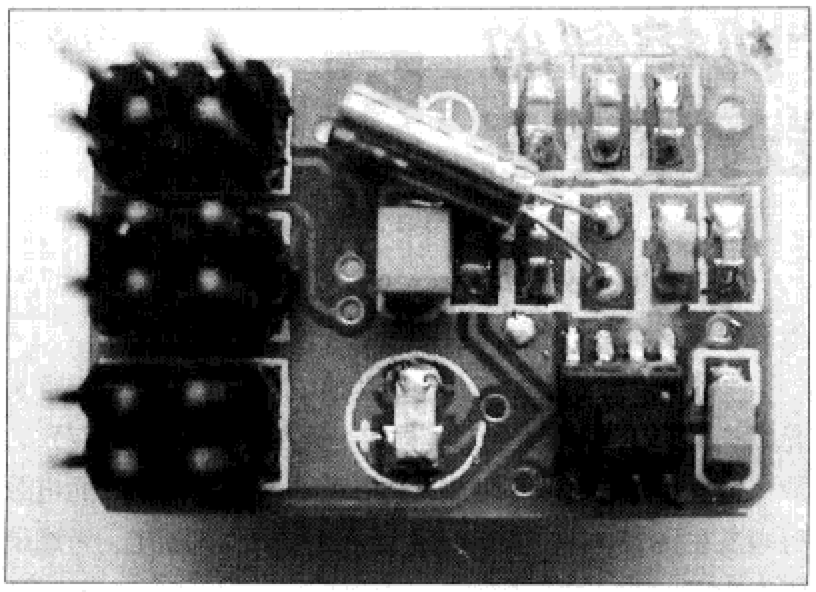


图5 焊接晶体及指示灯

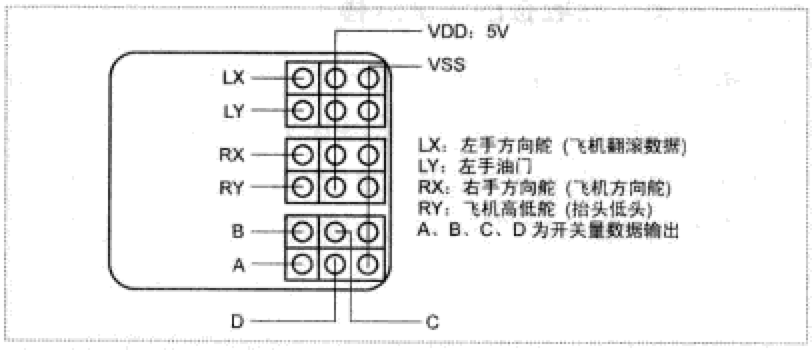


图6 双排针引脚定义示意图

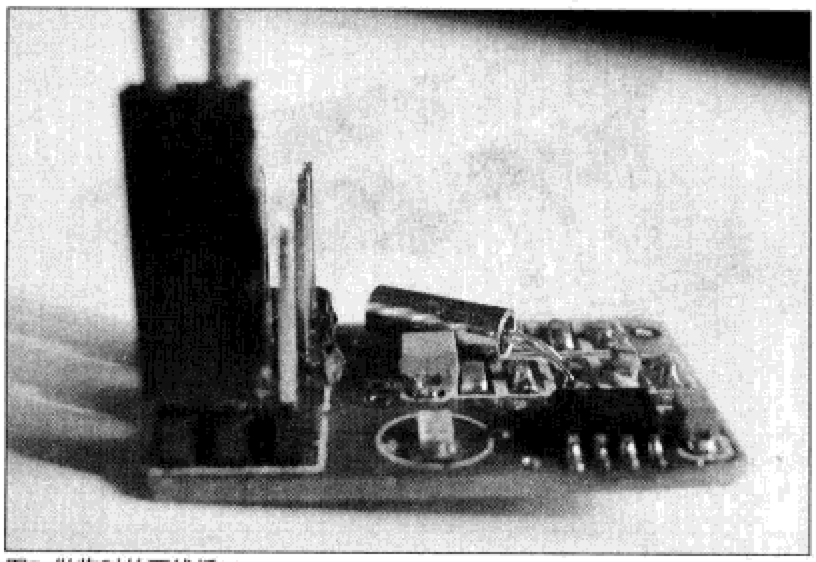


图7 做临时的两线插口

第 2 步：打开无线遥控发射机电源开关，选择第 1 种工作程式（此为出厂设定值），按一下 Batt Type 键，进入到工作状态（见图 9）。操纵摇杆电位器 L 的 X 轴方向，发射机液晶屏上的 LX 值会随之变化。用示波器可以观察到，接收板 LX 引出针上的波形宽度会跟随摇杆电位器位置变化而改变。当摇杆电位器 X 轴操作到 2 个极限位置时（向左或向右到头的位置），其接收板 LX 对应输出 1~ 2ms 宽的正向脉冲。整个变化过程平滑渐进，不能出现抖动与毛刺。然后逐渐拉远发射机与接收机的距离，在接收机不装外接天线的情况下，可以拉远到 10~30m 时还能正常工作。余下的 LY、RX、RY 3 个通道都按上述方法逐一测试，如果均正常，则接收机焊接完成了。

第 3 步：拨动发射机数据开关 A、B、C、D（见图 9），注意观察：无线遥控发射机上的示意光标为箭头时，是对应开关为开启状态，此时接收机对应的插针上应为 5V 高电平；示意光标为斜线时，对应开关为关闭状态，接收机对应插针上应为 0 电平（见图 10）。

第4步：将接收天线软线焊牢在接收盘上，用热熔胶封一下以防止日后天线接头折断。天线长度（单位mm）计算公式如下：用尺子量出约164mm长剪断即可。

$$\frac{1}{4}\lambda A\,\mathrm{nt}=\frac{c\times0.97\times1000}{f\times4}$$

第5步：取3克左右的黑色环氧胶，固化剂均匀混合后用热风枪吹一下，然后再用低温挡吹焊接好的接收板，使板的温度上升到60~70 ℃即可，不要过热以防止元器件损坏。将调好的环氧胶用小毛刷涂在线路板背面，厚度约1mm，放平后环氧胶会自然流平，如有不足的地方再补一下。然后常温固化约10个小时此时应完全硬化，如固化得不好，可能是环氧胶与固化剂调配比例上有问题。然后再将整个线路板浸在绝缘漆中，但注意不要将插针上漆。滴尽余漆后在110℃的烘箱下，烘2~3个小时即可。

第6步：取一段长22~23mm、宽24~25mm的透明热缩

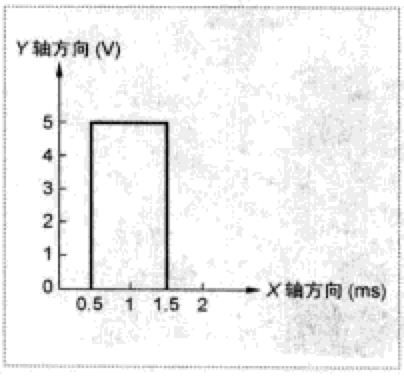


图8 1.5ms脉冲波形

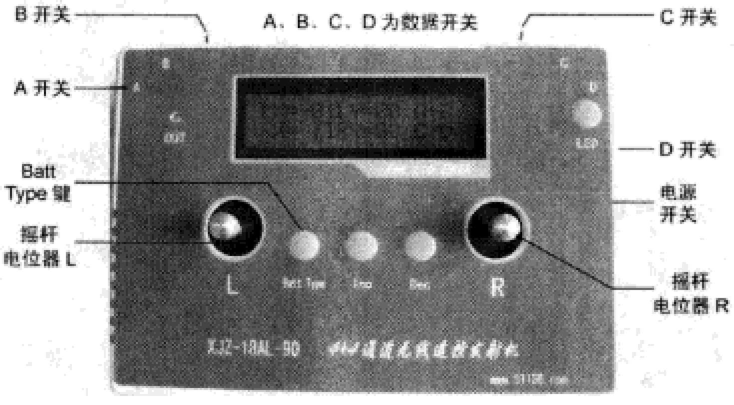


图9 发射机进入到工作状态

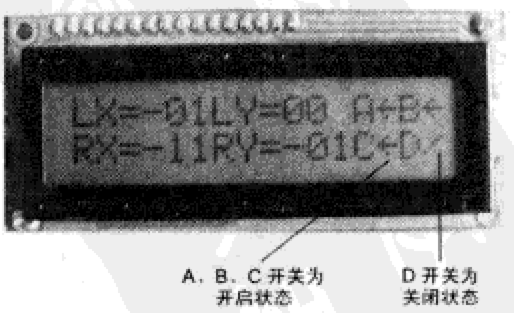


图10 数据开关开启与关闭状态

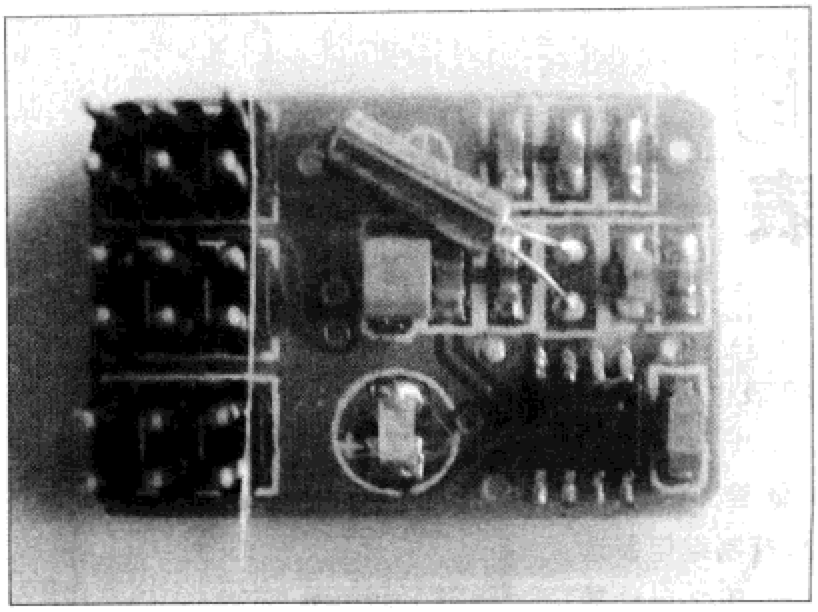


图11 将热缩管套在电路板上

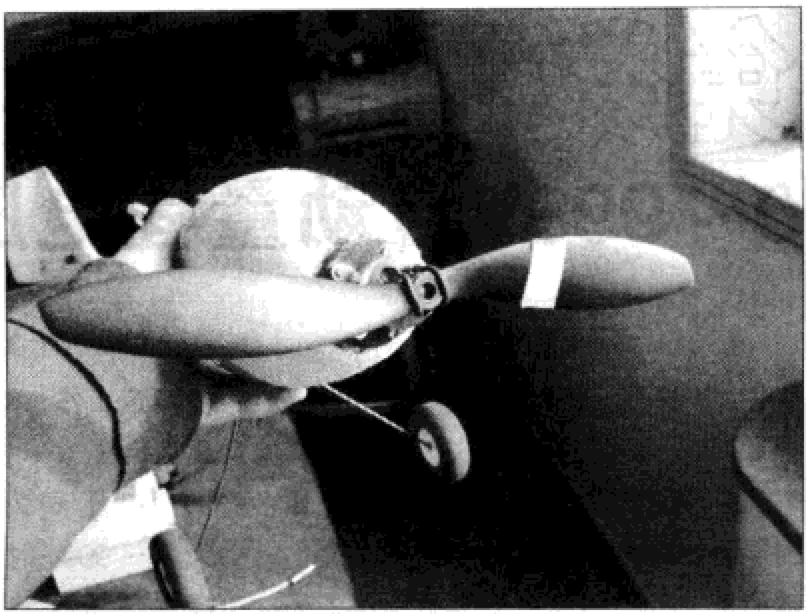


图13 在螺旋桨正面中腰位置粘贴不干胶纸

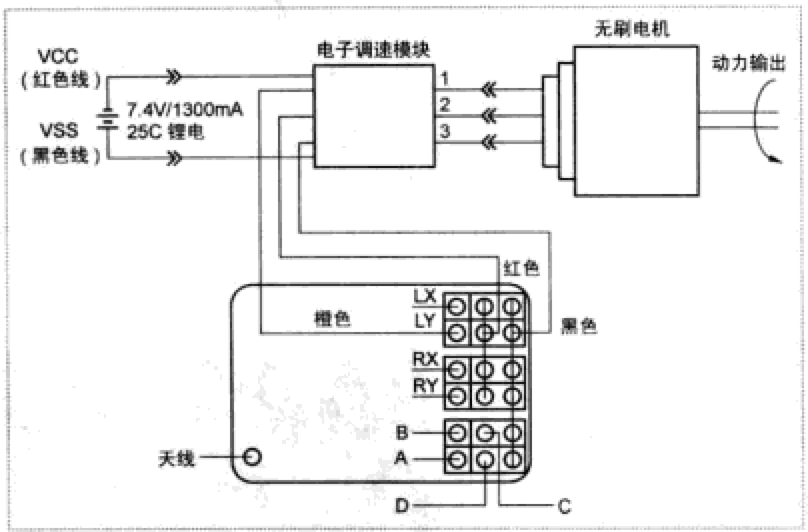


图12 电路连接图

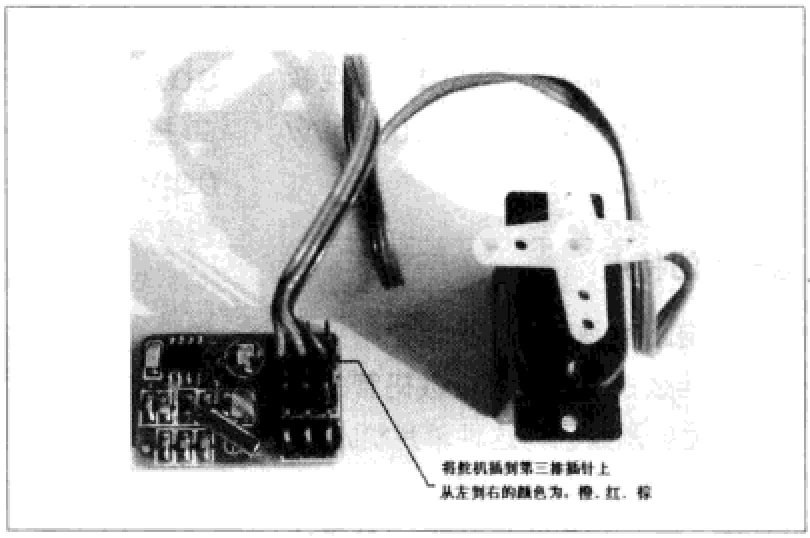


图14 将舵机插到插针上

管，套在接收板上（见图11），用热风枪边吹边用手整形，最好将整个电路封好。

第7步：整个电路按照图12连接好。关于电源，如有把握可直接使用7.4V/1300mA的锂电，但如果实验过程中有意外会损坏电池，所以还是用带有短路保护的电源为好，笔者使用的是带有短路保护的220V/7.4V，300W的开关电源，可提供约40A的电流。为了测量工作电流时做到心中有数，外接了一个20A/75mV的分流器和20A/75mV的直流电压表。现在，可以开始试验了。

第8步：将无刷电机固定好，暂时不安装螺旋桨。因为无刷电机转动时扭矩很大，在操作失误时会伤及人身，特别是手眼，所以一定要注意安全！切记！先打开遥控发射机并让L、R二个摇杆手柄自动回中，再给接收器通电之后电机未转，电流表应只有极小的摆动，接收板上LED灯会随着发射机数据灯同步闪亮。这时将LY轴逐渐推一点，无刷电机会转动。此时观察一下转动方向，以电机轴面向我们来看应为逆时针旋转。如果方向不对，要关闭所有电源，把无刷电机的三条线中任意二条颠倒一下再试。电机空载时将LY轴逐渐推动电机转速，升到最高时，电源电流表约1A。反复操作发射机LY摇杆使电机升速/降速多次，正常后即可挂桨实验了。

第9步：取十字头桨座，用十字螺丝刀固定在电机轴上，将螺旋桨凸面朝前，用配套的O型胶圈扎在桨座上，用手拉住桨根向前用力拉一拉，看是否固定紧了。取长约2cm的浅色反光不干胶纸贴在螺旋桨正面中腰位置上（见图13）。当螺旋桨转动时，用光电转速表照亮浅色不干胶纸，就可以测出电机的相应转速值了。推LY摇杆到最大正Y方向，在7.4V电压时，电机转速应在8000~13000转/min，电源总电流为5~7A。多检查几次其他连线，准确无误后可同第8步一样停电试验了。

第10步：取舵机一只，辨别好插头颜色后按插在接收板上（见图14）。LX插针通电后，左右操作摇杆电位器的LX轴正负X方向，舵机轴应与其做同步摇动。基本看不出有滞后的现象才对。

第11步：将电机与舵机固定在飞机模型上，装上充满电的锂电池，你就可以去放飞飞机了，看自己动手制作的飞机在天空中翱翔，心情真的是很好！

免数码管驱动的 0～999V自动量程电压表

◎秦新月

电压表是电子爱好者必备的仪器，我们曾经介绍过用51单片机加AD转换芯片制作电压表，但是外围电路比较复杂，并且制作成本高、精度差、元件多。最近笔者制作了一款基于PIC16F870的高精度自动量程电压表，电路十分简单，数码管不需驱动元件就能很亮，见图1。观看制作视频，请登录www.tudou.com/v/drP2MbPZBVQ。

电压表的特点

在电路实物图上，大家是不是很奇怪为什么找不到那几个数码管的驱动元件呢？那是因为这种单片机I/O口为CMOS互补推挽电路，有很强的带负载能力，每个I/O口可提供25mA的灌拉电流。这样，在制作电路时可以省去很多麻烦，比如三极管，尤其是对这些做实验的万用板非常有利！

主要芯片PIC16F870单片机采用RISC结构的单片机数据线和指令线分离，即所谓哈佛结构。这就使得取指令和取数据可同时进行，且由于一般指令线宽于数据线，使其指令较同类CISC单片机指令包含更多的处理信息，执行效率更高，速度亦更快，是51单片机的3倍，就是说PIC单片机用4MHz晶体就和51用12MHz晶体的运算速度一样快，我们的这款电路就是采用4MHz晶体。

单片机具有较宽的电压范围：2.0～5.5V，同时它还是低功耗芯片，在4MHz时电流小于1.6mA，因此这对电源的要求更低。我们的电路采用了7805稳压，就算电压再波动单片机也能稳定工作，这款电压表也就有了双重稳定性。

电压表为自动量程，在输入为1～999V时单片机控制继电器选择最佳量程，小数点也随之自动转换。电路为4位数码管根据数码管将电压表分为三个量程范围：第一挡为0.000～9.999V，分辨率为1mV；第二挡为10.00～99.99V，分辨率为0.01V；第三挡为100.0～999.9V，分辨率为0.1V。

可以通过两引脚对芯片进行在线编程。内置10位多通道模数转换器，省去了A/D转换芯片。

为了提高此表的性能，把它的输入内阻做到了1MΩ，当被测电压到达1000V以上时，电路告警并断开A/D取样，保护单片机不被损坏。

PIC16F870体积小，采用28脚DIP封装；价格便宜，市场价每片5元左右。芯片外形见图2，引脚定义见图3。

电路原理

硬件电路大致可分为6部分，分别为电源电路、分压电路、量程选择电路、电压跟随电路、单片机电路和显示电路。它们之间的关系见图4。

1. 电源电路

由电路图可知，此电源采用的是大家都熟悉的工频变压器变压，220V市电经过变压器变为9V，之后通过4个二极管整流，电容滤波，再由7805转换为单片机需要的5V稳定电压，但此电路用到了两路电压，其中9V直流电给电压跟随器LM358供电，因为在LM358用5V供电时组成的电压跟随器输出不能达到5V。LM358的电压范围是3～32V。

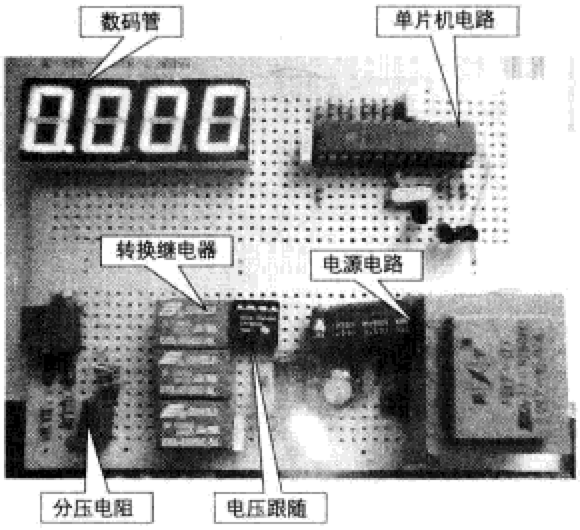


图1 自动量程电压表电路实物图

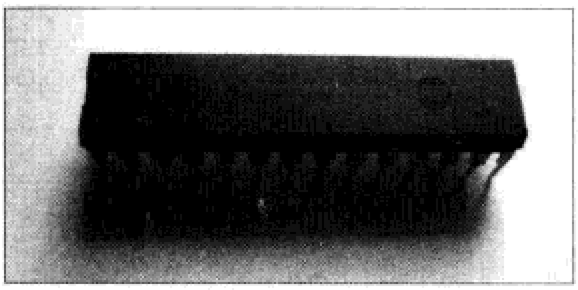


图2 PIC16F870芯片实物图

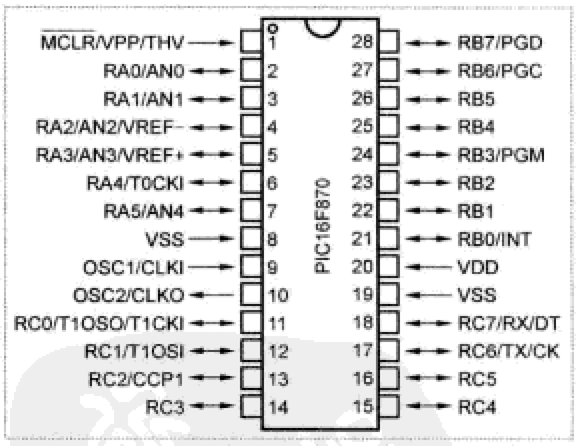


图3 PIC16F870芯片引脚图

2. 输入部分

因为单片机基准电压为5V，所以它最高只能检测5V的电压。为了能检

测到更高的电压，我们只有采用电阻分压。电阻衰减是线性的，因此只要我们在软件中乘以相应的倍数就能得到被测信号的电压。如图5所示，当输入电压为10V时，B点电压为5V，所以在测量10V以内电压时，单片机RC1控制继电器选择B点为输入点，当输入为100V时，C点为5V，被测电压在10~100V之内时，单片机RC2选择C点为输入点，输入在1000V时，D点为5V，在100～1000V时，单片机RC3选择D点为输入点。

3. 电压表校准

大家可以看到，在图6中采用一个电阻和一个可调电阻串联来达到像图5这种阻值，可以方便微调和校准。等电路做好后先用万用表测量这几点的电阻，把每段的可调电阻调到如图5所示的阻值，然后再将一款比较好的表与此表并联，调节可调电阻使自制的表与基准表显示相同。校准要先调低阻值段，后调高阻值段，这样才不会造成一

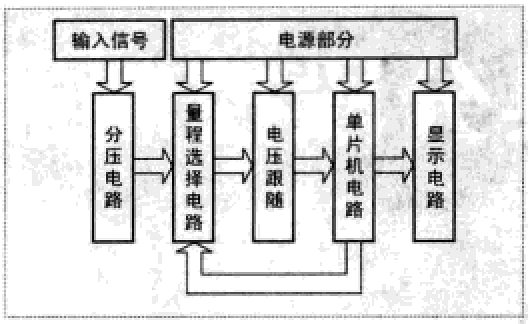


图4 电路原理图

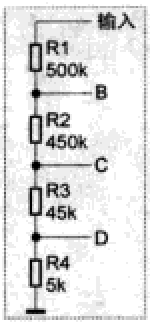


图5 输入部分

个量程准一个量程不准的现象。

4. 电压跟随电路

由于PIC16F870的A/D转换器的采样时间是10～20μs，影响采样时间的主要因素之一就是信号源的内阻，要求信号源内阻不得大于10kΩ，所以就在电路中加入由LM358组成的电压跟随器，来降低信号源内阻并起到隔离被测信号和单片机的作用。

5. 单片机和显示电路

PIC16F870的外围比较简单，只有28个引脚，采用4MHz晶体，用它串接电阻直接驱动4位共阴数码管。用动态扫描的方式，软件部分控制每个量程电压的倍数，小数点的位置也会根据量程的不同而转换。

软件部分

使用微芯公司PIC单片机专用编译软件MPLAB来进行编译，它的使用方法和KEIL大致相同，并且支持C语言，省去了用汇编语言的繁琐，程序看起来也比较简单清晰，源程序和注释可登录无线电网站（www.radio.com.cn）下载。

结束语

制作完成后，笔者做了个实验，发现这款表与市场上购买的自动量程电压表很有一拼，虽然此电路实现了上述功能，但是电路的设计不免有些考虑不周之处，比如抗干扰和补偿等。如果大家感兴趣，可以进一步改进（例如加入电流检测等），让它更实用、更完美。

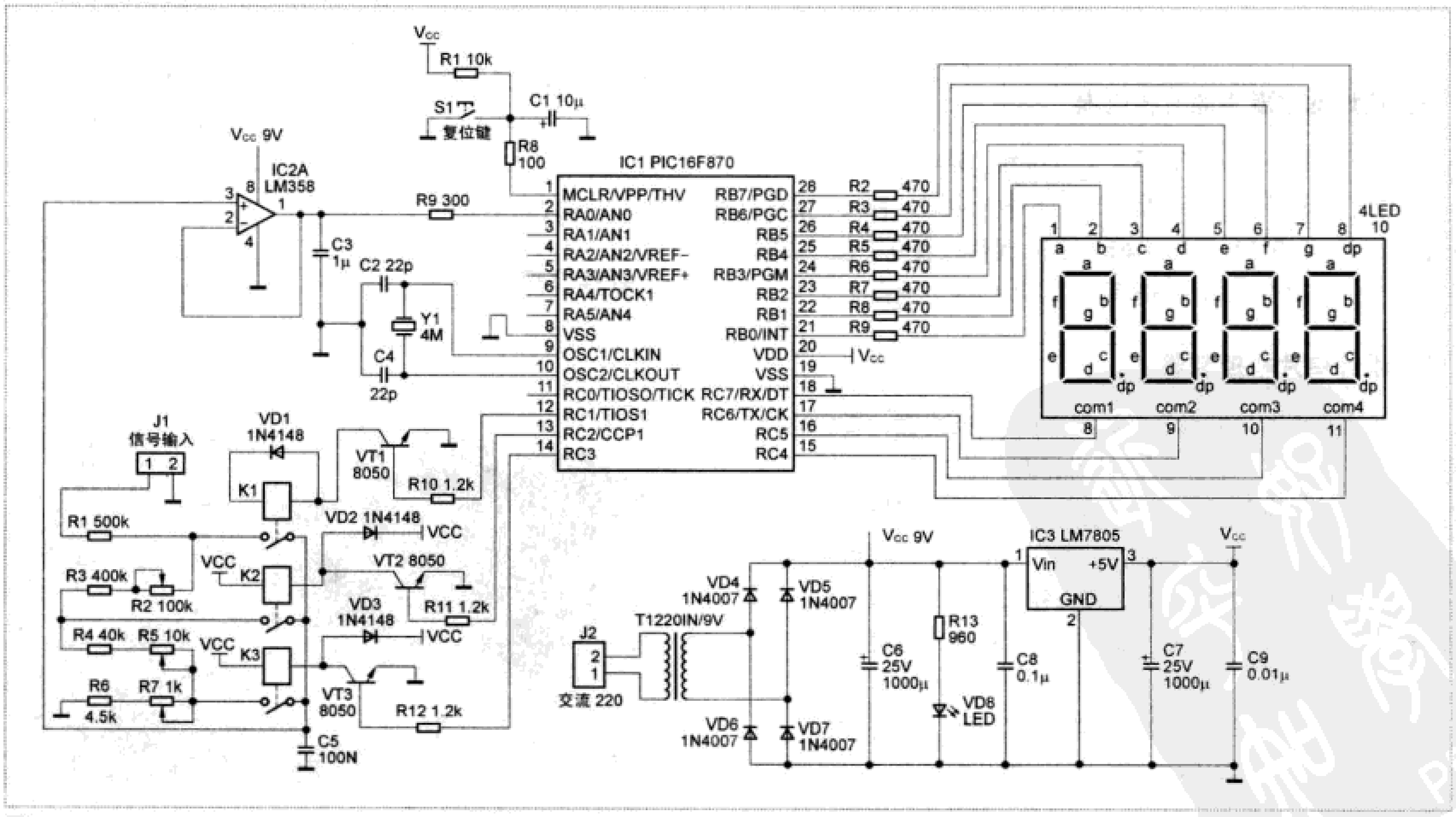
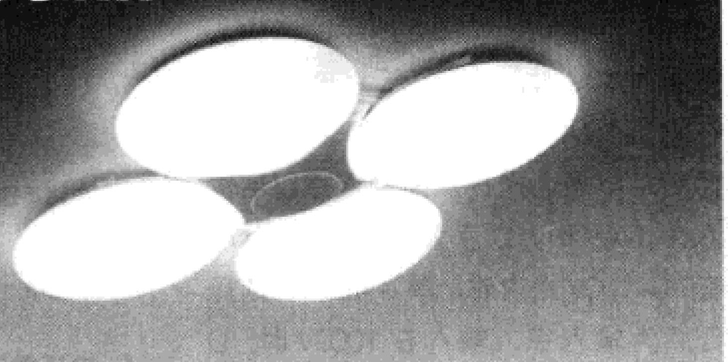


图6

DIY多头灯具分段控制器

◎温正伟



为了方便和节能，现在很多家庭都会安装分段控制的吊灯，而且很多都是可遥控的。但是有孩子的家庭会发现，小孩经常顽皮地拿着遥控器切换灯玩，遥控器有时也不翼而飞。这个烦恼其实可以用一个简单的单片机搞定，您在家就可以自行制作。

现在大多数家庭都会在客厅里安装一个多头的吸顶灯或吊灯，以适应不同时间的照明需求。这些灯具一般会带有不一样的分段控制器，有些是由无线遥控控制的，有些是由电灯开关进行分段控制。我家里就安装了一个4灯管的88W吸顶灯，是无线遥控开关控制的。使用时要先打开电灯开关，打开后默认是4支灯管一齐点亮的，然后才可以用无线遥控开关控制要开几个灯。通常晚上只开2支灯管就足够了，那样就要先按墙上的开关，再找到那个小小的无线遥控开关进行切换。家中小孩又经常喜欢拿着遥控器玩，这样一来就麻烦了，要不找不着遥控，要不小孩不停的切换灯玩。要是购买一个用开关切换的多头灯具控制应该也要几十元吧，反正自己是电子爱好者，这样的事应该难不到我吧，于是自己便DIY了一个。过程实际上非常简单，下面我就与大家分享一下。

一、从灯具中取下原有控制器

把灯具拆下取出控制器。可以看到，简单的功能用了好多元件，要是用单片机不是简单好多吗？电路只包括整流电路、无线接收模块和继电器驱动电路。无线接收模块输出的信号经过2片40系列的芯片处理后驱动9013控制继电器闭合。

二、设计单片机控制器

我想实现的功能是开灯后默认点亮2支灯管，要切换灯管数目时只需要关掉开关又马上打开开关，可以从2、3、4、1支这样切换点亮灯管。这样一来就有二个问题需要解决了，一是开关断开后，电源也切断了，电容上的电荷很快被继电器线圈放完电，单片机无法继续工作，二是单片机如何得知开关被关了呢。图2是我设计的电路图，带着上面两个问题，我们分析一下电路。

单片机选用市场上常见的STC出品的12C2052AD，这款芯片在IO上完全兼容AT89C2051，芯片功能上扩展得更丰富了，如IO的强上拉、高阻，片内RC振荡及复位电路、片内EEPROM等。为了方便制作，我使用了片内的RC振荡及复位电路，这样一来省了复位电路及晶体振荡器。9V交流变压器整流后得到约12V的直流，一部分供给继电器驱动，一部分供给78L05稳压后得到5V供单片机使用。在78L05输出端使用一个4700μF(C2)电解电容。使用如此大容量的目的是，在主电源切断后，C1会被继电器线圈很快的放完电，而C2仍有电荷供单片机使用。VD3、R2、VD4构成一个断电检测电路。电源没有切断时，VD3半波整流后经过R2限流，再由VD4稳压在5.1V左右，电源切断时这里则为0V。使用这个电路的要点是C2的容量要远大于C1，这样才能保证在电源切断后P3_7引脚得到的是一个低电平，同时单片机在断电后一段时间内仍能保持工作。另外，P3_7引脚需要设置为高阻态，如果使用准双向模式就算VD3失电，P3_7仍然是处于高电平状态。单片机输出的控制信号通过内部强上拉后，经过10kΩ的电阻使得三极管B极电流在0.5mA，再经过100倍左右的放大，C极电流可以达到50mA，足以驱动继电器。因为电路安装在灯内，LED可以不要，只用于程序的调试作用。完成的电路实物图见图3。

三、软件编程

软件的编写也极为简单。上电后先设置IO的上拉和高阻

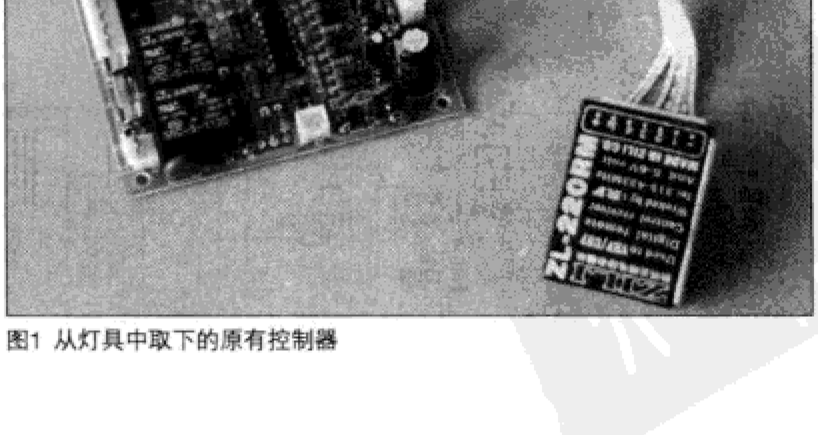


图1 从灯具中取下的原有控制器

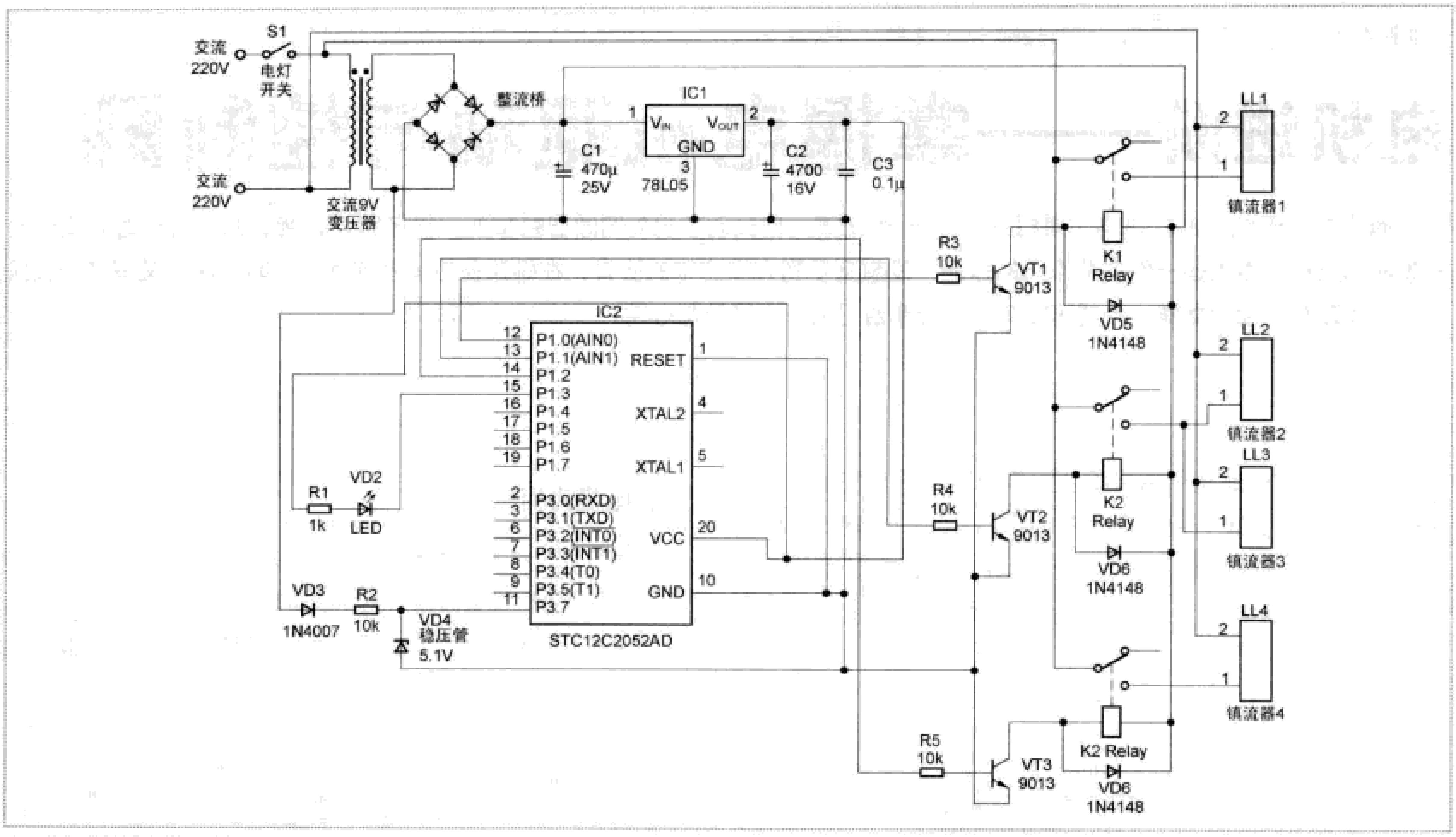


图2 单片机设计电路原理图

态。因为上电后IO输出为高，所以在完成设置后把IO拉低，这样就不会有上电瞬间4支灯管片刻间点亮的问题。程序会不停用P3_7引脚检测电源状态，一但电源失电，P3_7检测到为低电平时，这时会延时防抖，确认为失电后应马上切换到下一个灯管开关状态，灯会在1s后点亮。如果开关关闭时间过长，单片机也会因C2放电完成而终止工作，所有电路停止。所以在使用时，开关关闭再打开的时间间隔大约为1s，也就是开关关闭后马上又要打开，只有这样这电路才能正常

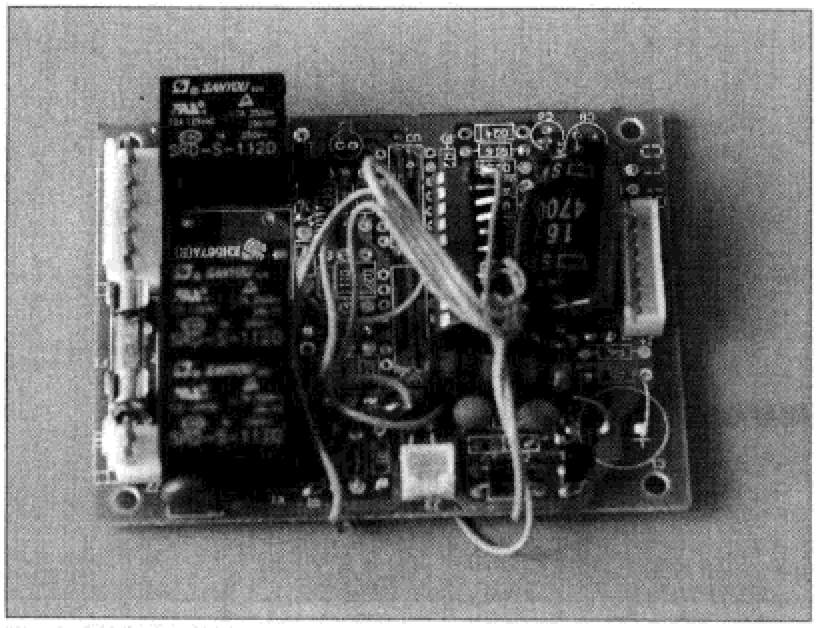


图3 完成的电路实物图

进行切换。可以登录无线电网站www.radio.com.cn获取程序源码。

四、组装

我们从图3的电路可以看到，它是直接在灯具原配的电路板上修改的，拆除无线接收及其他部分的电路，只保留继电器、继电器驱动电路、电源部分及接口，这样根本不修改原灯具便可以方便地按原路安装新的功能。此项制作要求制作者十分熟悉市电，安装时也一定要先切断电源。图4是分别点亮2支和1支灯管的测试。使用学习到的电子知识来方便自己的生活，确实十分有意义。

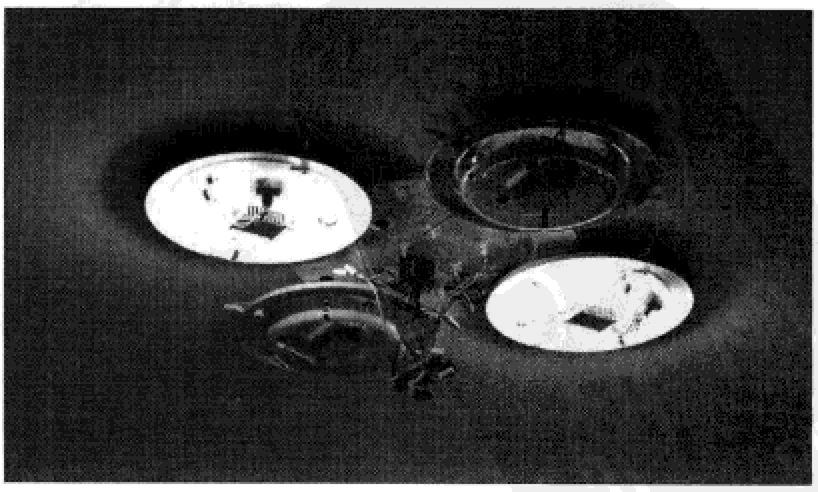


图4 安装后的点亮效果

◎李文卿

电机进阶——掌握电机驱动与控制 1

有幸在《无线电》2009年12期上发表了一篇文章《自己动手用AVR做智能车》。很多朋友跟我联系，说很喜欢我的一些想法和风格。本来是一件消遣娱乐的作品，没想到受到大家这样的赞誉，在感谢各位读者欣赏的同时，应邀又写了一篇关于电机驱动与控制的文章，希望可以与大家分享自己的一点经验与心得。

如果你想完全掌握所有电机的工作原理，那几乎是不可能的。因为电机是一门很深的学问，有些装置的工作原理到现在也没有人研究清楚。因此在这里，我就不对此原理进行高谈阔论了，只介绍一些常用的控制电机和控制方法。

一、电机为何物

控制电机也叫微控电机，主要是对控制信号进行传递和变换，而不是进行能量转换为其他设备提供动力的电机，比如电器、玩具、机器人上的电机大都是控制电机，通俗地说就是个

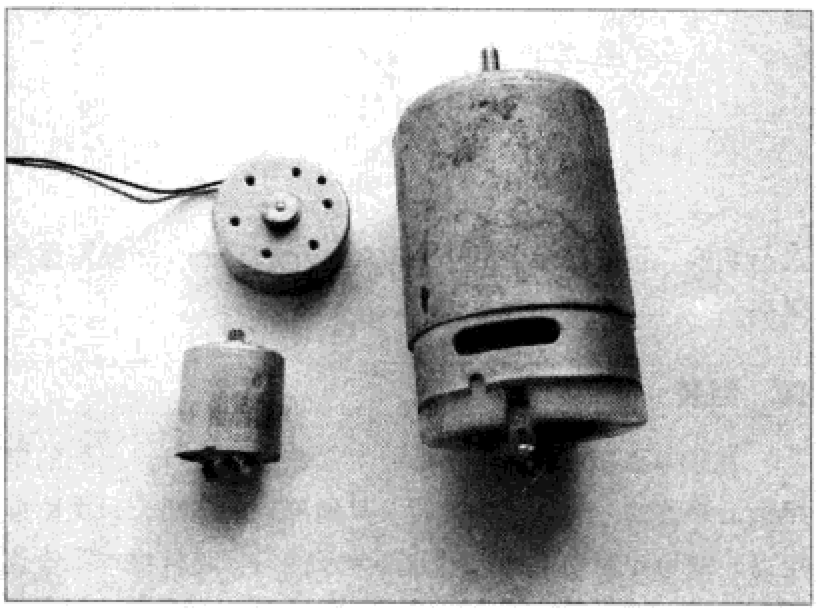


图1 直流电机

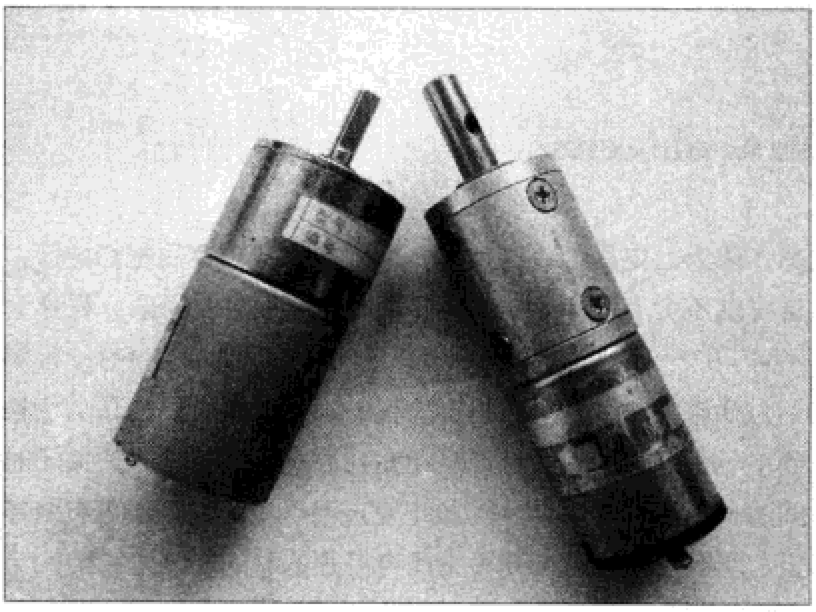


图2 带变速箱的直流减速电机

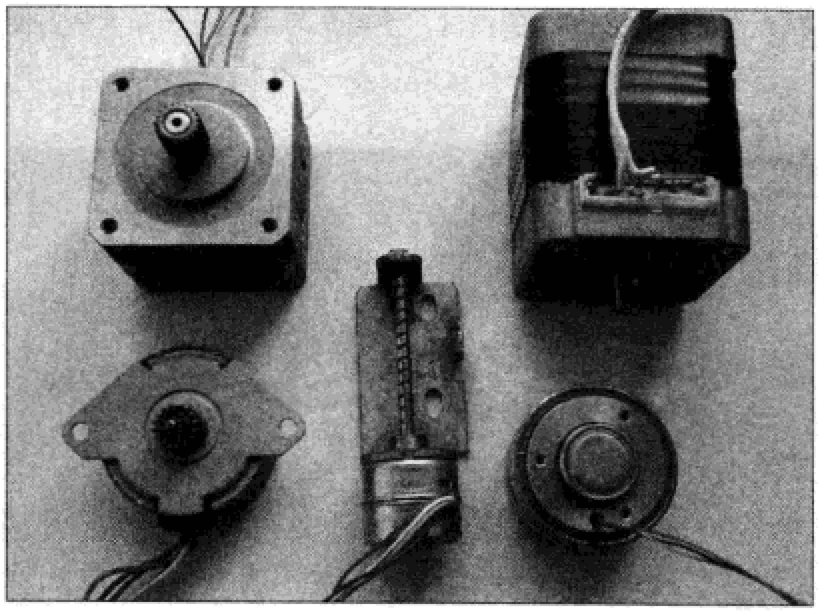


图3 步进电机

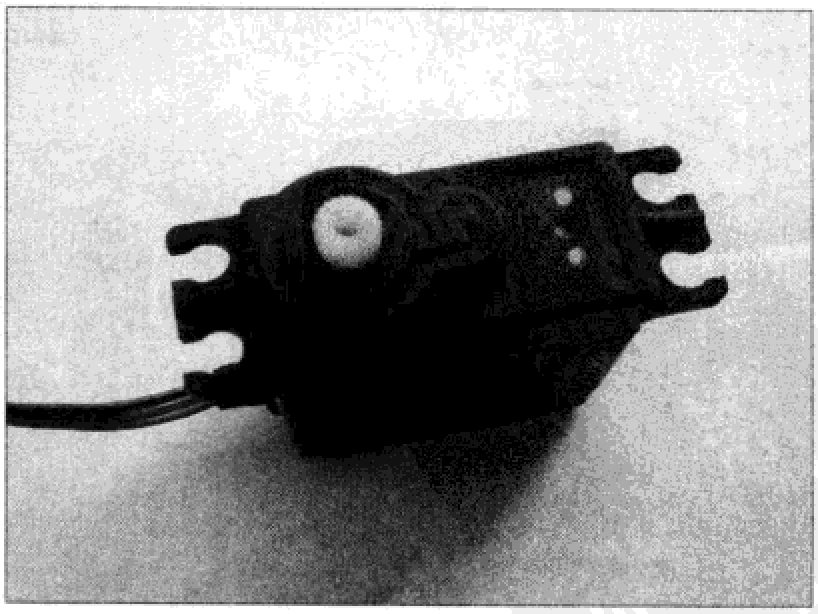


图4 直流伺服电机

头小的电机。控制电机主要有直流电机、步进电机、伺服电机等。图1是直流电机，图2是带变速箱的直流减速电机，图3是步进电机，图4是直流伺服电机。

直流电机是我们平时使用得较多的电机，如电动玩具、电脑风扇、刮胡刀等使用的都是直流电机。下面就以大学生智能车大赛为背景，介绍一下直流电机。“飞思卡尔”杯全国大学生智能汽车邀请赛是由高等学校自动化专业教学指导委员会负责主办的全国五大竞赛之一。图5和图6分别是赛车和第四届比赛决赛赛场的宣传画。本人有幸两次代表学校参加“飞思卡尔”杯智能车大赛，对比赛流程和赛车制作有一定了解，在这里把其中一些经验与大家分享，希望更多人能够享受到智能车的快乐。

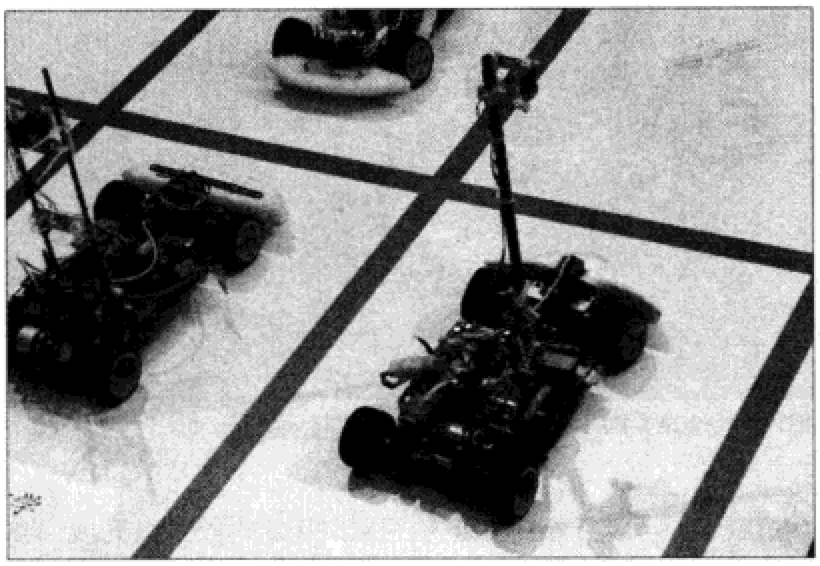


图5 比赛赛车

图6 “飞思卡尔”杯智能汽车竞赛

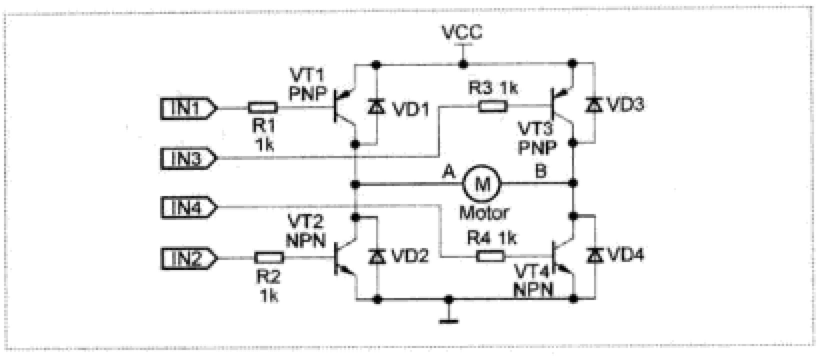


图7 电机正、反转H桥驱动电路

二、电机应该如何驱动

控制电机首先要面对的问题就是驱动方案，驱动方案的好坏将直接影响到电机工作的稳定性和控制的效果。在很多时候我们要控制电机，不单是要它能够转动和停止，还要能控制转动方向（正、反转）和转速，比如在智能车的电机控制中，如果需要小车急停就必须进行制动。制动的方法有能耗制动（永磁直流电机能耗制动就是把电机两端短路，利用转动中自己感生出的电流产生反向力矩，来阻止电机继续转动）和反转制动。

1. H桥驱动电路

让我们一起来学习一种用三极管搭建的电机正、反转H桥驱动电路（见图7）。一个PNP三极管VT1和一个NPN三极管VT2组成了一个桥臂，VT3、VT4组成另一个桥臂，4个二极管既作保护又在能耗制动时起到续流的作用。三极管饱和导通时，集电极和发射极间压差为0.3V左右，截止时电阻很大，因此我们可以把三极管看作是一个开关，饱和导通时闭合，截止时断开。

要想让电机工作，就必须形成一个通路。从电路图上可以看出，如果VT1、VT4导通，VT2、VT3截止，就有电流从VCC经VT1→Motor→VT4到GND，电流就从A点到B点流经电机，电机正转。如果VT2、VT3导通，VT1、VT4截止，电流从VCC经VT3→Motor→VT2到GND，从B点到A点流经电机，电机反转。电机正在转动时，如果VT2、VT4导通，VT1、VT3截止，假设电机自转产生的电动势中B点电势高于A点，电流就从电机B端流出经过VT4→VD2回到电机A端形成回路，由

表1 晶体管H桥电路的工作状态表

电平信号				三极管工作状态				电流流向	电机工作
IN1	IN2	IN3	IN4	VT1	VT2	VT3	VT4	—	—
0	0	1	1	导通	截止	截止	导通	VCC→A→B→GND	正传
1	1	0	0	截止	导通	导通	截止	VCC→B→A→GND	反转
1	1	1	1	截止	导通	截止	导通	A→B→A	制动
0	0	0	0	导通	截止	导通	截止	B→A→B	制动
1	0	1	0	截止	截止	截止	截止	无	不工作

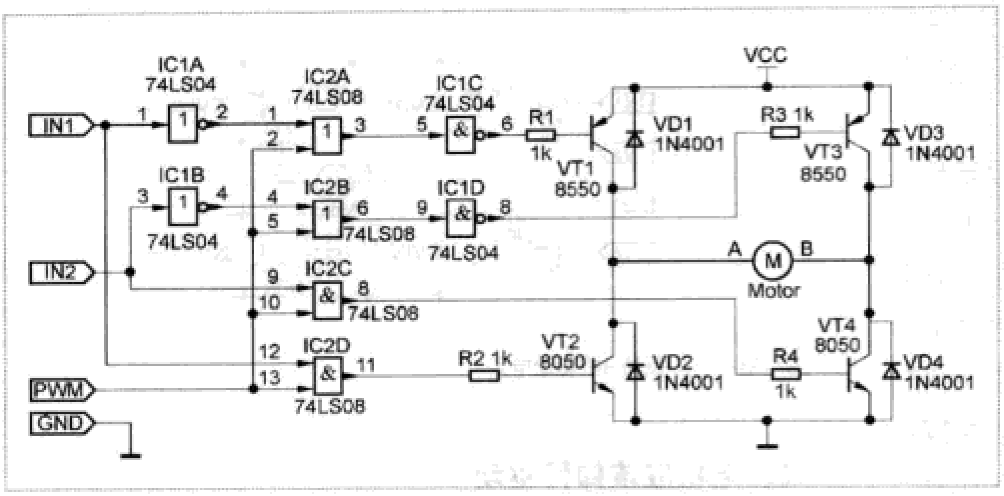


图8 改进的驱动电路

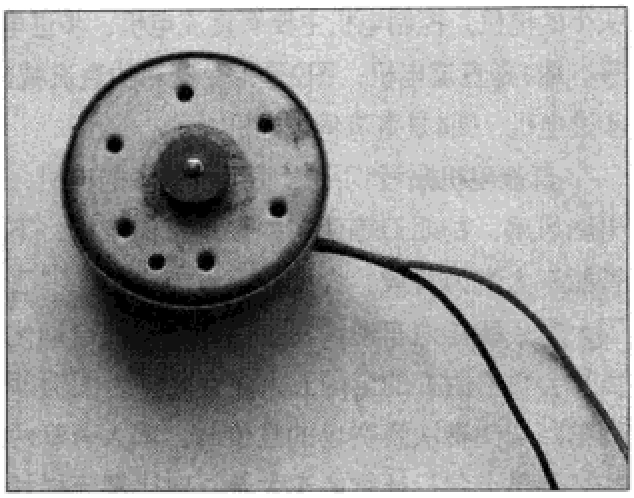


图9 随身听上拆下的电机

于回路中负载较小，因此会产生较大的感应电流形成反向扭矩阻止电机的运转，从而达到制动的目的（VT1、VT3导通，VT2、VT4截止时同理）。通过以上分析，我们可以制作出一份晶体管H桥电路的工作状态表（高电平用1表示，低电平用0表示），见表1。

你可能会有这样的疑问：图7中的电路能直接用于电机驱动么？如果VT1、VT2或VT3、VT4同时导通，会出现什么情况？此时电流经过两个开关直接从VCC流到GND，相当于短路，这是不允许的，因此H桥驱动电路只允许有表1中的5项控制操作。这个电路占用IO口较多、控制过程较复杂，而且如果操作失误可能会出现短路烧毁电源或设备。针对这些缺点，我做出了以下改进方案（见图8）。

根据改进驱动电路的工作状态表（见表2），我们可以看到，只用3根线就可以实现正反转、制动、调速的控制，而且从硬件上保证了上、下桥臂不能同时导通，因此不会因操作失误或信号错误而发生短路。同时逻辑电路把控制器和驱动电路隔离，保护了控制器。因此这个电路可以直接用于电机的驱动。

PNP三极管选用8550，NPN三极管选用8050，二极管选用1N4001，另外引出一根线与信号源共地。8550和8050是小功率三极管，承载500mA以下的电流是没问题的。做实验的电机是我从随身听上拆下来的（见图9），工作电流不到100mA，其实一般的小电机空载时电流都不大。完成的驱动电路实物如图10所示。我用Proteus做了一个仿真电路(见图11)，大家可以用仿真看看效果，正反转、制动、停止都可以实现。

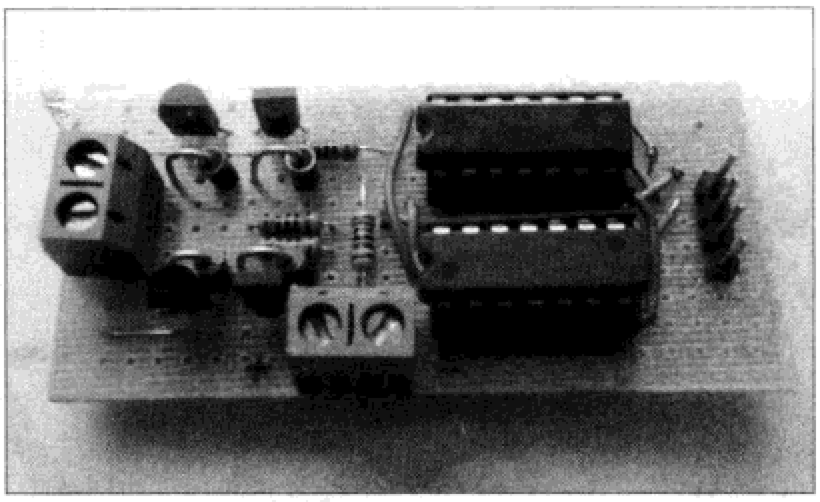


图10 驱动电路实物图

虽然如图8所示的电路已经能做电机驱动了，但是晶体管的导通压降与导通电阻较大，这使得我们对电机的控制可能不够及时，能耗制动的效果也不很理想。像在智能车这种要求反应快速及时的系统中，就需要更小的导通电阻和管间压降，因此就要使用MOS管搭建驱动电路，即把上面的NPN三极管换成N沟道MOS管，把PNP三极管换成P沟道MOS管。N沟道MOS管导通电阻可以达到几毫欧，P沟道MOS管也可

表2 改进驱动电路的工作状态表

电平信号			三极管工作状态				电机两端状态		电机工作
IN1	IN2	PWM	VT1	VT2	VT3	VT4	A点	B点	
—	—	0	截止	截止	截止	截止	断开	断开	不工作
0	0	1	导通	截止	导通	截止	1	1	制动
0	1	1	导通	截止	截止	导通	1	0	正转
1	0	1	截止	导通	导通	截止	0	1	反转
1	1	1	截止	导通	截止	导通	0	0	制动

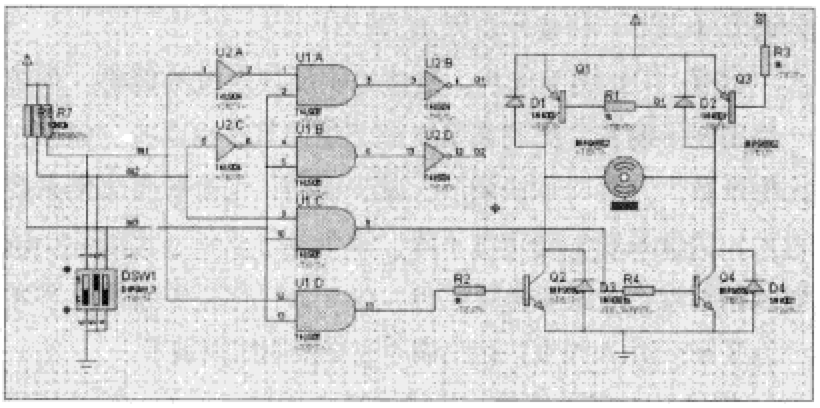


图11 Proteus仿真电路

以达到100mΩ以下，这样算下来通过10A的电流，压降还不到1V，这是很可观的。

之所以占了这么长的篇幅讲H桥驱动电路，是因为H桥是电机驱动电路的核心结构。掌握了工作原理后，不论电路简单还是复杂，你都会有入手分析的办法。

2. 集成驱动电路

下面为大家介绍两种智能车中经常使用到的集成驱动电路LM298和MC33886。LM298（见图12）是晶体管全桥驱动电路，它用于步进电机和小型直流电机的驱动，两路电机驱动通道。MC33886是MOS管全桥驱动电路，用于小型直流电机的驱动。

在它们的技术资料中你能看到，它们内部的驱动电路部分用的都是H桥，只不过不是PNP+NPN的形式。LM298中4个晶体管全部是NPN的，这是因为不管是晶体管还是MOS管，N型的成本较低而且导通电阻较小，负载能力也强。但是对于上桥臂来说，负载位于发射极的话，当电机工作时使发射极电压自举升高形成一个强烈的负反馈，从而使三极管的工作状态发生变化，驱动电路发热，电机不能正常运转。所以在它们内部都有升压电路，使上桥臂的信号电位高于自举电压（通常是高于VCC电压3～5V），从而保证基极电流能够维持饱和导通（MOS管中是维持完全导通的栅极压差）。

三、电机的调速

介绍了电机驱动，下面我们来说一说电机的调速。在一些环境中，我们需要对电机的速度进行控制，例如电脑CPU风扇、打印机滚轮等。要控制速度首先要知道速度，也就是电动机测速，测速之后控制器根据速度采样值调节对驱动电路的控制信号实现速度调节。

电动机的测速有很多方法，常见的有测速发电机测速、霍尔传感器测速、编码器测速、光电码盘测速等。测速发电机测速适合大型电机的测速。霍尔传感器测速的方法具有抗干扰能力强，准确可靠的特点，但是测速分度较低，结构也比较复杂。编码器测速不但使用方便，运行可靠稳定而且分辨率高，也是目前智能车大赛中普遍使用的测速装置，但是价格有点高。我们将着重介绍光电码盘测速，这种测速方法比较简单、容易操作，而且编码器也是基于光电码盘测速的原理。

首先需要找一个码盘，不透明的齿轮，或者是滚轮鼠标里拆下来的码盘（见图14）。实在找不到的话，就找一个透明的塑料片，用记号笔划几道遮光光栅（不需要很规则）。然后用胶水把它粘在小电机的轴上，要尽量把码盘的中心对准电机轴承中心固定，如图15所示。

接下来的是电路部分，需要用到槽型光耦，槽型光耦的外形呈一个“凹”字型，一边是个红外发射管另一边是接收管，它们都被塑料壳包起来，中间留了一条很细的窄缝，没有障碍物时接收管能接收到红外线，有东西挡住中间时接收

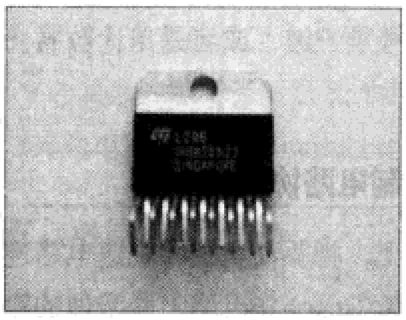


图12 LM298实物图

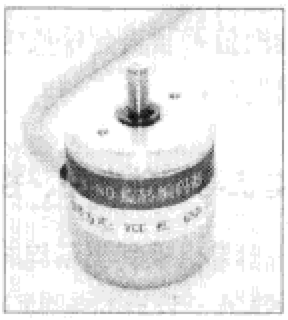


图13 编码器实物图

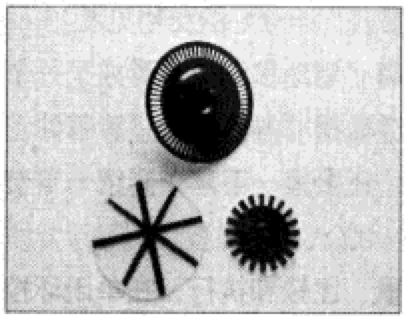


图14 码盘和齿轮

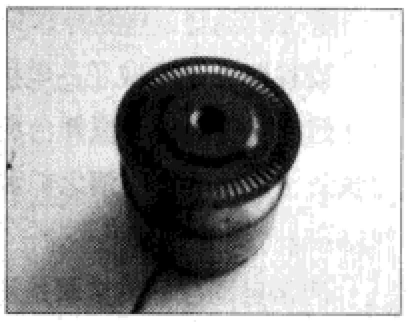


图15 固定好后

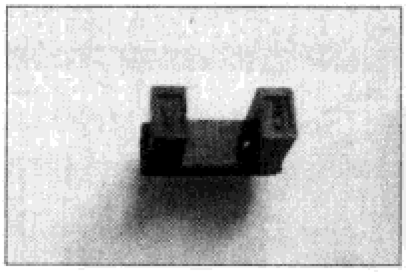


图16 槽型光耦

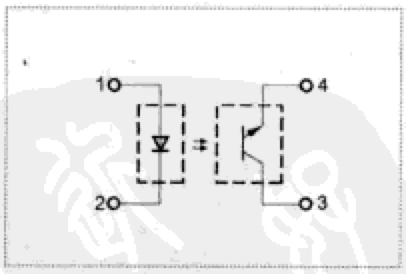


图17 槽型光耦原理

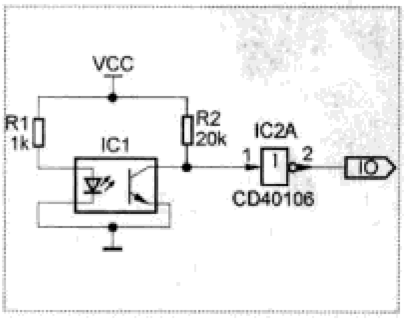


图18 光耦发射接收电路

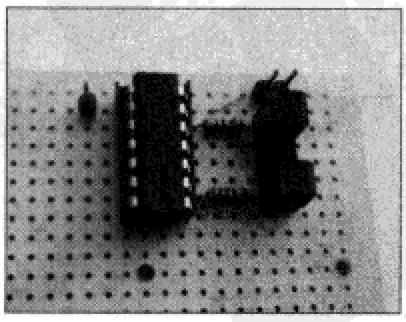


图19 测速电路实物图

管就接收不到了。在选择槽型光耦时中间缝越细小说明管子性能越好。图16和图17分别是它的实物和原理图。

把槽型光耦接入图18所示的电路，从图中可以看出没有遮挡时，发射管发出的光线直接被接收管接收，接收管导通，集电极电位为低电平。当光线被遮挡时，接收管接收不到光线，处于截止状态，集电极为高电平。后面串了个CD40106施密特触发器的作用是对信号整形，遮光物体进入和离开时都有一个过程，这就使得信号变化也有一个过程，不是规则的方波，不能直接提供给MCU，加上施密特触发器以后，通过阀值触发，就变成规则的电平信号了。图19是测速电路实物。这样，当我们把码盘放在光耦的槽中随电机一起转动时，就能产生方波信号，送到MCU后经计算就能得出电机的转速。

测速电路和码盘都做好了，就把他们固定在一起（见图20）。这时把测速电路和电机通电，调整电机的高度用示波器测量输出信号，直到输出信号是方波，或者是用计数器、频率计测出有方波出现。

四、让电机与驱动电路、控制电路协调工作

现在把电机接到驱动电路上，把驱动电路和测速电路连接到控制器上。我用的单片机是ATmega16，图21是我做的实验板，但在这个试验中我们只用到两个IO口、一个外部中断和一路PWM通道，电路原理见图22。连接好的实物见图23。

硬件部分都完成了，电机有了驱动和测速，形成了一个闭环控制。现在就好像舞台和道具都准备好了，只等着你上台表演了。不过在表演之前呢，还要报一下幕，介绍一下节目内容。

通常自动控制的步骤是测量、比较和执行。在单闭环控制回路中，我们使用到的控制方法有比例调节（P调节）、积分调节（I调节）和微分调节（D调节）。

比例（P）调节作用：是按比例反应系统的偏差。系统一旦出现了偏差，比例调节立即产生调节作用以减少偏差。比例系数大，可以加快调节，减少误差，但是如果比例系数过大，会使系统的稳定性下降。举个例子来说，比如你小的时候爸爸规定考试要考到80分，少一分打你KP次屁股，多考一分奖励KP元人民币，这个调节过程就叫比例调节。

积分（I）调节作用：是使系统消除稳态误差，提高无差度。因为有误差，积分调节就进行，直至无差，积分调节停止，积分调节输出一常值。加入积分调节可使系统稳定性下降，动态响应变慢。积分作用常与另两种调节规律结合，组成PI调节器或PID调节器。还举考试的例子，妈妈说要综合评价你，首先要求你每次考试都要80分以上，最近一次和前n-1次的考试成绩减去80分后的和，如果得正数的话，每分奖励KI元人民币，得负数的话，让你爸揍你KI次屁股。这个过程叫做积分调节。

微分（D）调节作用：反映系统偏差信号的变化率，具有预见性，能预见偏差变化的趋势，因此能产生超前的控制作用，在偏差还没有形成之前，已被微分调节作用消除。因此，可以改善系统的动态性能。在微分时间选择合适情况下，可以减少超调，减少调节时间。微分作用对噪声干扰有放大作用，因此过强的加微分调节，对系统抗干扰不利。此外，微分反应的是变化率，而当输入没有变化时，微分作用输出为零。微分作用不能单独使用，需要与另外两种调节规律相结合，组成PD或PID控制器。再举个例子，你父母让你哥帮你辅导学习，辅导好了重重有赏。所以哥哥很卖力，跟你声明，首先每次考试必须在80分以上，这次考试成绩减去80分后的成绩，如果比上次考试减去80分后的成绩多1分，他就奖励你KD元人民币，少一分的话，哼哼，打KD次屁股。由

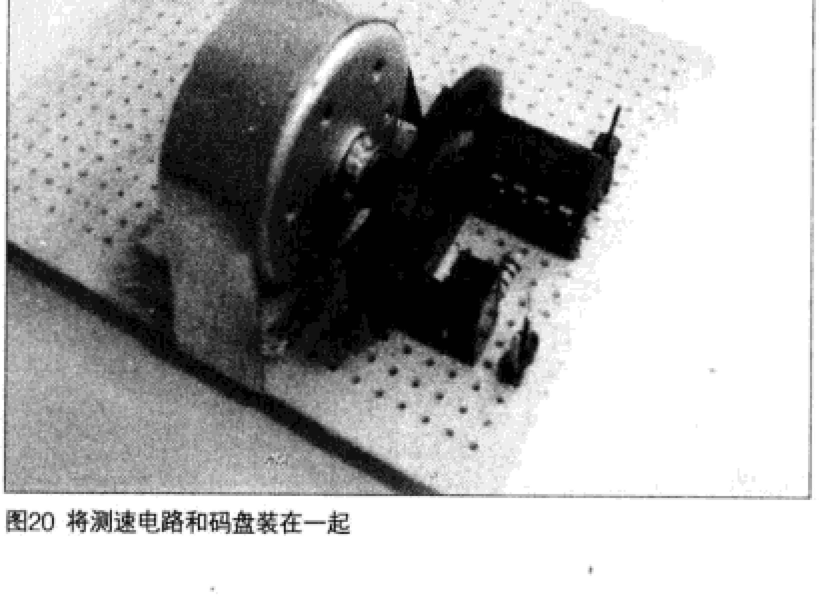


图20 将测速电路和码盘装在一起

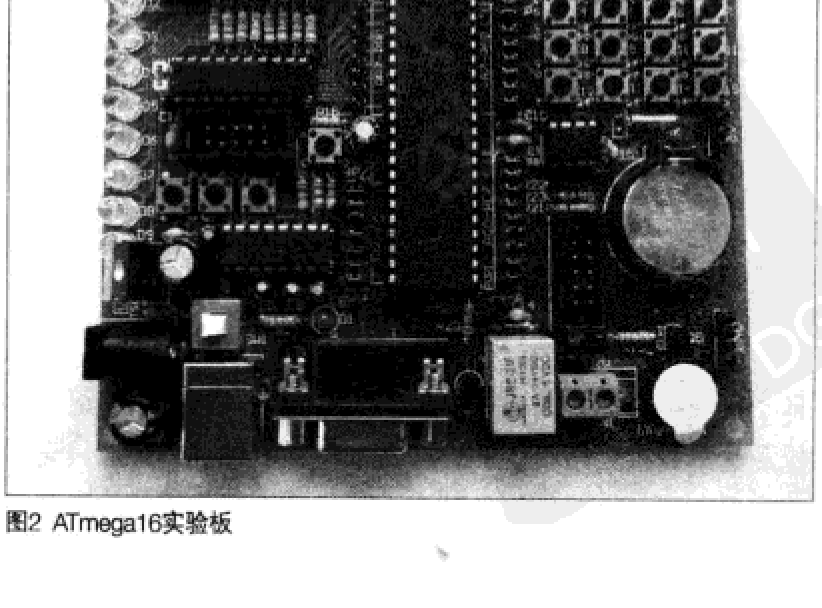


图2 ATmega16实验板

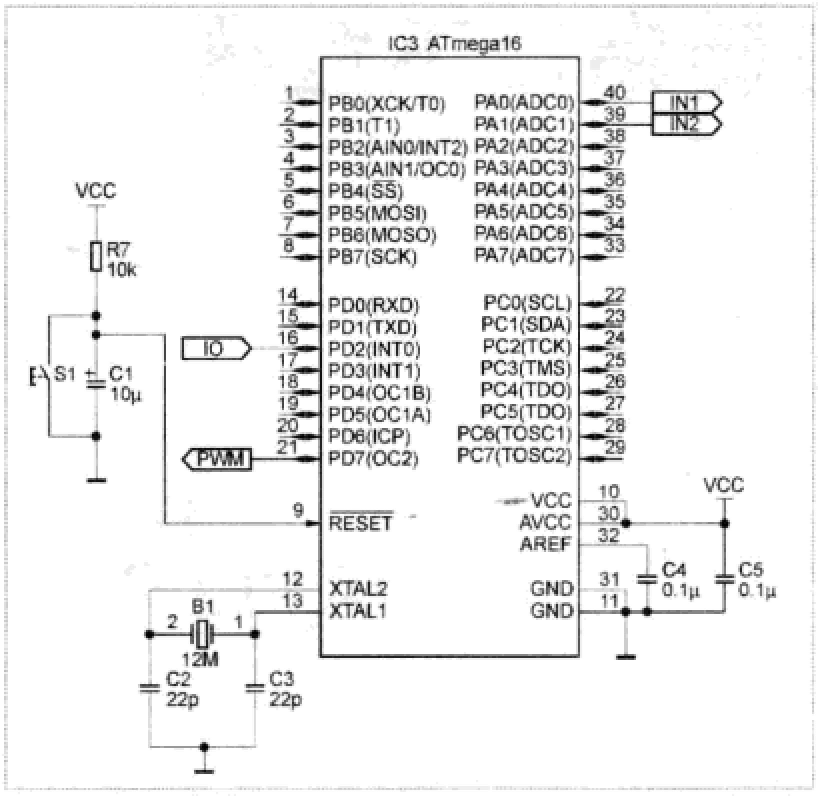


图22 电路原理图

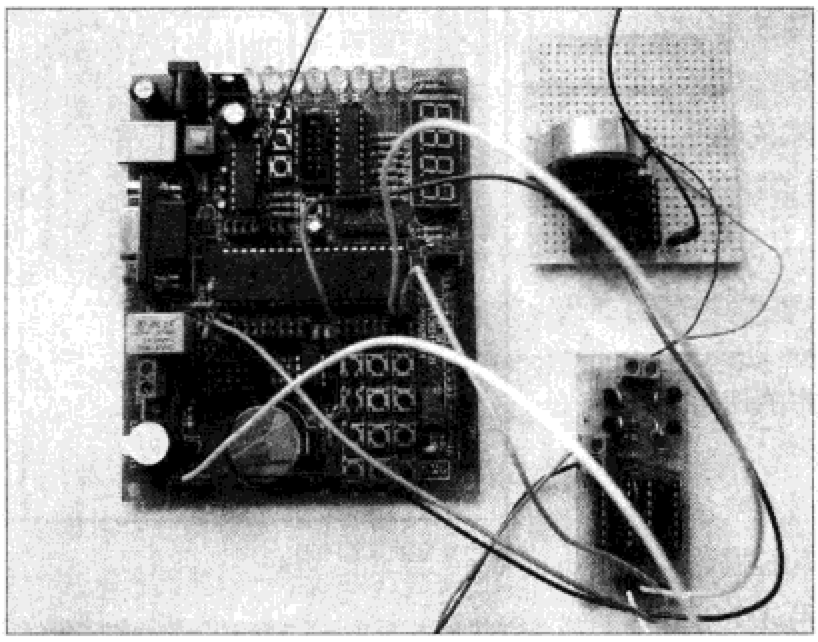


图23 连接好的实物图

于哥哥不是核心领导，必须要跟爸爸或是妈妈的命令配合使用。这个过程就叫微分调节。

如果只有爸爸和哥哥对你发命令，那就是PD调节，如果爸爸、妈妈、哥哥同时对你起作用，那就是PID调节。最后你的努力程度就是挨打数减去人民币数。假设你的考试成绩是m，偏差就是$e(k)=80-m$，就有输出：

$$P_{out}=KP*e(k)+KI*[e(k-n)+e(k-n+1)\cdots\cdots+e(k)]+KD*[(e(k)-e(k-1)]$$

我不知道我以这样一个例子解释PID有没有误导的嫌疑，但是我觉得这样有利于大家对PID调节的过程和各部分作用有一个更直观的认识。把上面的公式的考试成绩换成测速的脉冲数，把80分换成设定的速度值，采样周期不是一学期而是单片机定时器设定的采样周期，输出值Pout赋给PWM的比较器，这个过程就成了电机的PID调速控制过程。我还给出了一个PID调速的程序，里面有详细的注释，有兴趣的话可以登录《无线电》网站www.radio.com.cn获取。

五、小结

虽然我已经用这么长的篇幅简单介绍了直流电机的驱动与控制，但还是觉得有很多缺陷。一方面是自己水平有限，另一方面电机的控制也的确是一门很大的学问。我在这里不是教大家具体的使用过程，而是重在介绍和分析原理，这些东西可能不是你直接能够使用的，但是如果能使你了解到一些自己需要的东西，或是在今后的学习中有启示作用，我就很欣慰了，希望能和广大爱好者一起共同学习提高。

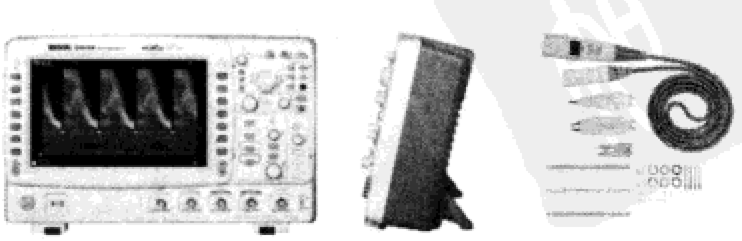
德州仪器 (TI)推出最新高速模数转换器ADS4149

德州仪器（TI）宣布推出最新高速模数转换器ADS4149，信号带宽可从 DC 到高达 550MHz。ADS4149拥有14位精度 250兆次每秒（MSPS）的最高采样率，250MSPS 时每通道功耗仅 275mW，功耗比同类产品低30%。是软件无线电与测试设备的绝佳ADC器件。

登陆德州仪器官方网站：
www.ti.com.cn可申请免费样片

普源精电推出DS6000系列数字示波器和有源探头RP7150

普源精电新近推出国内第一台带宽高达1GHz的DS6000系列数字示波器和带宽高达1.5GHz的用于差分或单端测量的有源探头RP7150。DS6000系列数字示波器带宽高达1GHz，而且实时采样率高达5GSa/s，存储深度深达140M采样点，波形捕获率更是高达每秒12万次，可录制多达18万帧的波形。借助UltraVision技术可实现深存储，高波形捕获率，实时波形录制及回放功能，并以10.1英寸宽大的显示屏显示。



自制用于STC的USB转串口下载器

◎温正伟

STC51内核单片机串口下载方式受到广大单片机初学者和爱好者的喜爱，编程调试及烧录都可以使用一条简单的串行线完成，极为方便。现在笔记本电脑的使用极为广泛，RS232接口已不再是标准设置，其地位早已被USB接口所取代。我认为单片机爱好者应该拥有一条USB转串口线，这是因为在一些制作或设备中RS232串口仍是很常见到。这里，我来介绍用FT232BM制作的一个USB转串口电路，可以直接用于STC芯片的烧录。

FT232BM为何物

FT232BM 是由 FTDI 公司在多年前生产的 32 引脚芯片（见图 1），性价比相对较高，在市场上仍在大量销售，价格也不过十多元。它支持 USB2.0，速度可达 12MB/s，资料传输速率可达 3M，支持 USB 特性的即插即用及热拔插功能，可以直接使用 USB 口的 5V 电源工作，也可以用外部电源供电，片内还可以输出 3.3V 电压供给周边电路。可以外接 EEPROM 用于参数设置。

制作电路

制作基本采用的是官方提供的电路图（见图 2），电路十分简洁。R1、R2 是用于数据连线的限流电阻，用以防止意外的大电流造成 USB 口的损坏，VD1、VD2 作为发送和接收指示的 LED。

图3是我绘制的单面PCB，登录无线电网站www.radio.com.cn获取1:1尺寸PDF版本的文件下载，可以制作热转印及印制PCB。使用这个PCB要注意的是用导线连接14和9引脚。在焊接USB连线时注意不要把DP和DM接反，否则将无法工作。

这个电路只使用了RXD和TXD，输出TTL电平，如果需要使用RS232电平则需要再加上TTL转RS232电平的电路。若在STC串行下载中的使用，只需要把RXD接到STC芯片的TXD，TXD接到STC芯片的RXD。

应用

在STC串行下载中的使用，只需要把RXD接到STC芯片的TXD，TXD接到STC芯片的RXD，如本期中的另一个制作《DIY多头灯具分段控制器》中的STC芯片烧录就可以用这个下载器，直接在STC12C2052AD的2、3和10脚连接到此下载器的P2接口的1、2、3脚上，就可以用STC下载软件下载HEX文件到芯片中。当然你也可以直接在你的单片机项目中加入FT232BM芯片实现USB连接的功能。图4就是我自己的一个实验电路中的FT232BM。

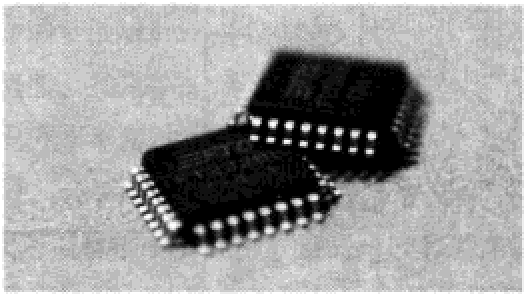


图1 FT232BM芯片实物图

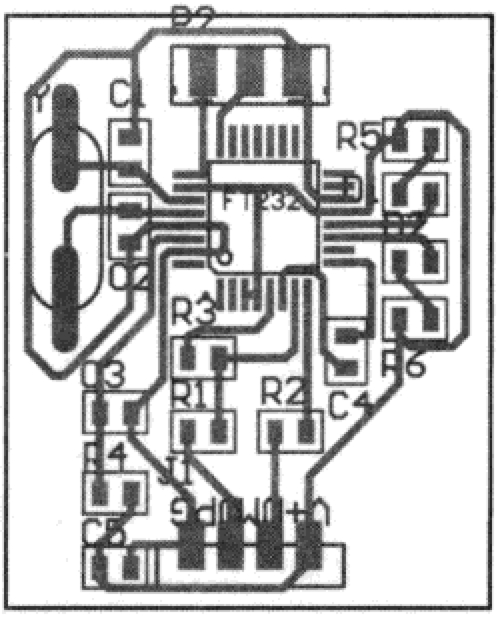


图3 绘制的单面PCB

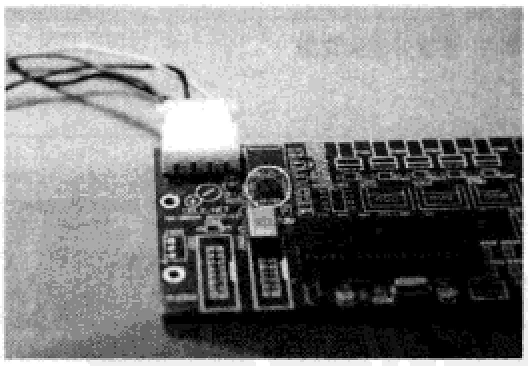


图4 FT232BM在实验电路中

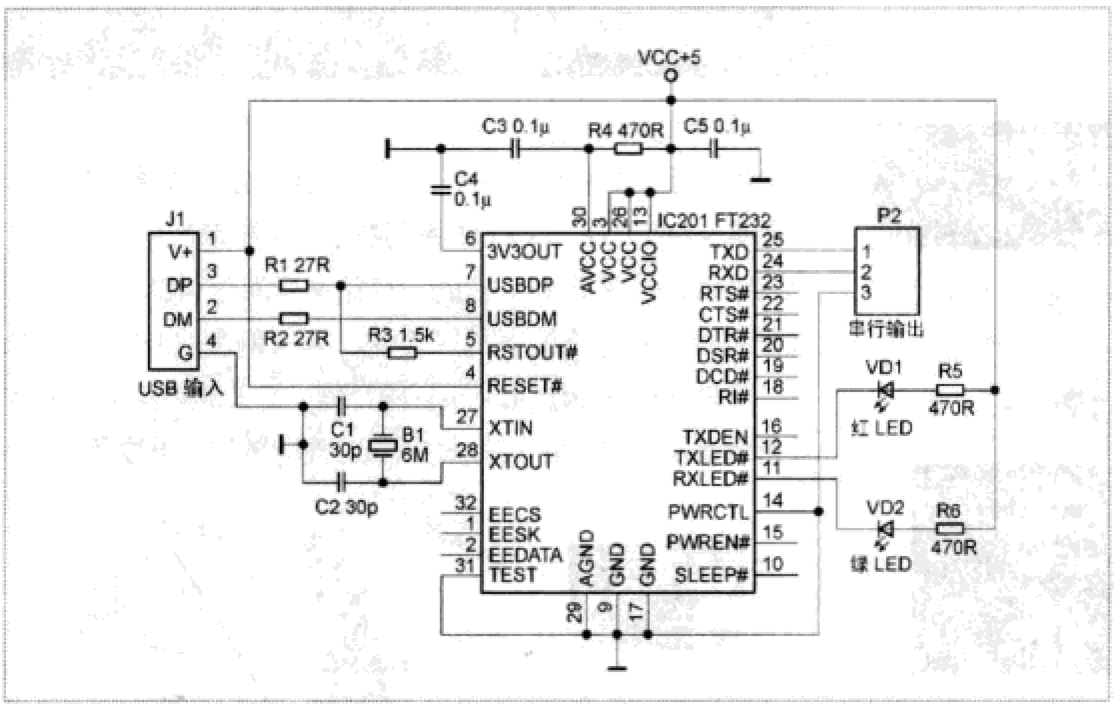


图2 电路原理图

用X形金字塔制作重力传感器

◎杜洋

如何制作一款可以感知上、下、左、右、前、后6个方向和加速度的传感器呢？

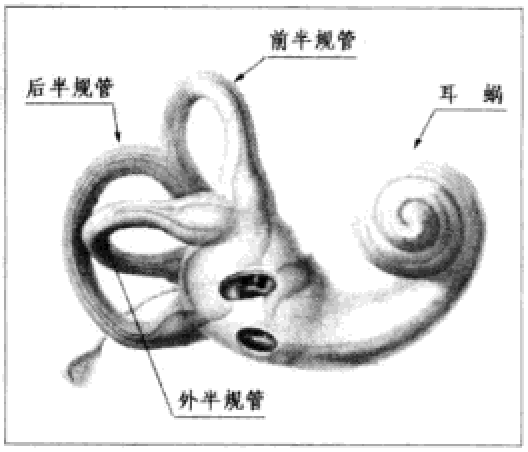
我在商场里见到了iPhone手机，它的设计可谓简洁而不简单，不仅有多点触控的屏幕，还有重力感应装置。iPhone内置的重力传感器可以感知自身位置状态，可以在机身横向旋转时自动将屏幕上的内容横向旋转。这一小小的功能深受广大苹果爱好者的欢迎。相信许多电子爱好者体验了这一功能之后，都会像我一样去探索这一感应器的内部功能及原理。回到家里，努力地在网上搜索关于这一传感器的资料。虽然有一些相关资料，但都是只言片语，不能得其本来面目。以我所知，这种功能的实现依靠一种传感器芯片，它可以感知重力方向和加速度，把这些环境数据输送给处理器。这看上去是一种比较复杂的技术。如果购买专用的重力传感器芯片，不仅价格昂贵，而且驱动起来也很麻烦。如果电子爱好者们只想在自己的小制作上加入这一功能，有没有更简单的方法，又能否可以自己制作出更便宜的重力传感装置呢？为了解决这个问题，我的大脑一直在不停思考、寻找答案。殊不知给我启发的金钥匙就在我大脑的旁边。

除了iPhone手机之外，还有没有感知重力和加速度的其他例子呢？照照镜子才发现，我们自己就具备这样的能力。耳前庭——产生听觉和保持身体平衡的器官，是造物主在几百万年前的重大发明。在耳前庭上边有3个相互垂直排列的环形圆管，这个部分叫半规管。3个半规管（前半规管、后半规管、外半规管）相互垂直，在空间上形成三维坐标。**半规管内充满液体，当头部有位置变动时，半规管内部的末梢神经就可以感觉到这一变动，然后把数据传给大脑。**这样一来，我们才可以掌握身体平衡，知道汽车转向，了解速度变化。由于制作耳前庭和将人造耳前庭与单片机连接起来的难度极大，所以我还要寻找其他的方案。

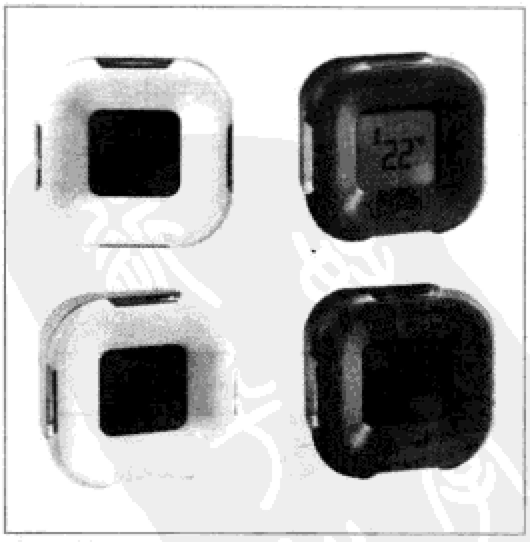
还有一种电子时钟具有重力感应装置。时钟的正面有一块液晶显示屏，时钟的4个边方方正正的。只要旋转一下时钟，显示的内容就会切换。4个边接触桌面对应四种显示信息，有时间、日期、温度、闹钟时间之类。这种闹钟在市场只卖10元左右，我不相信它所使用的是和iPhone手机相同的传感器芯片，那么如此低成本的设计到底是什么呢？一位好友闻听此事，马上跑回家，拆开了那个闹钟，破解了这一谜题。

这种闹钟的重力感应装置非常简单，甚至有一种庸俗之感。它在一个小塑料壳中放入一个金属小球，小球的四周——也就是塑料壳的4个内边缘插入4个金属针，当作触点。金属针用引脚引出，连接在闹钟的电路上。轻轻摇晃闹钟，还能听到小球四处碰针，哔哔作响。由于重力的作用，小球总会把它正下方的2个金属针短

iPhone手机



耳前庭结构

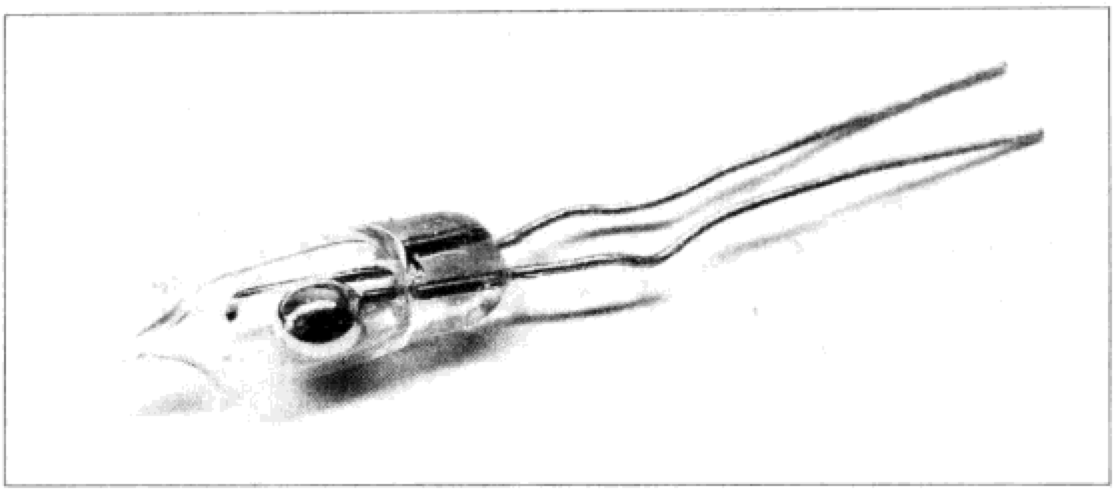


旋转闹钟

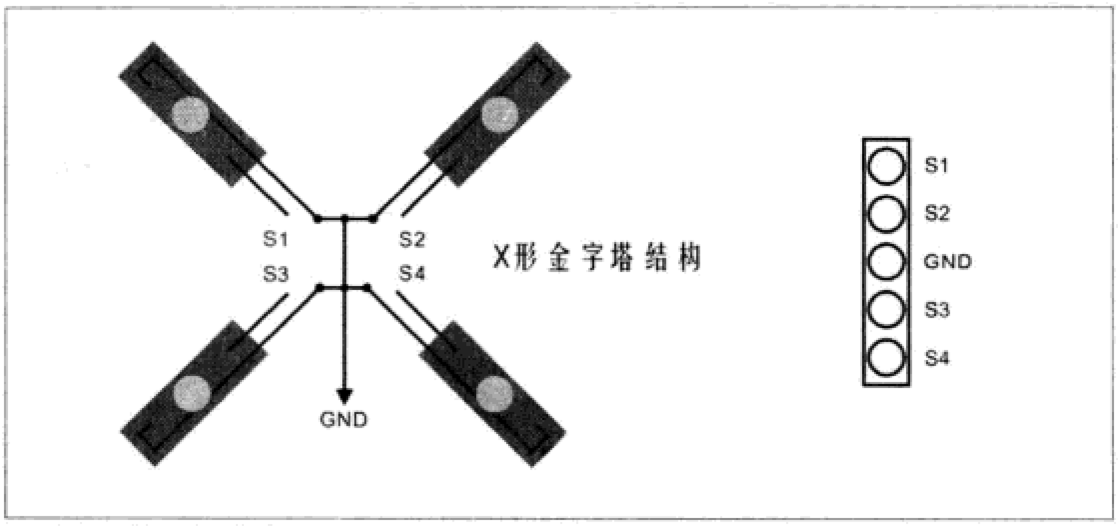
接——像开关一样。闹钟的处理器只要读出是哪两个引脚短路，就可以知道闹钟的哪一个侧面朝下了。

小球传感器（我们暂时先这样叫它）的设计简单、实用、成本低，如果只是纸上谈兵的话，这款设计是最佳选择，可一旦动起手来问题就远比想像中的复杂。小球传感器在市场上并没有成品出售，它只是某些闹钟厂商特别定制的配件。虽然心灵手巧的爱好者朋友可以自己制作，但塑料外壳也不容易得到。我们DIY需要的应该是在市场上容易买到的，面向所有爱好者的制作。更主要的是小球传感器只可以感应4个方位，而我们理想的传感器应该能感知空间的3轴6个方位，所以我们还要继续探索新的答案。

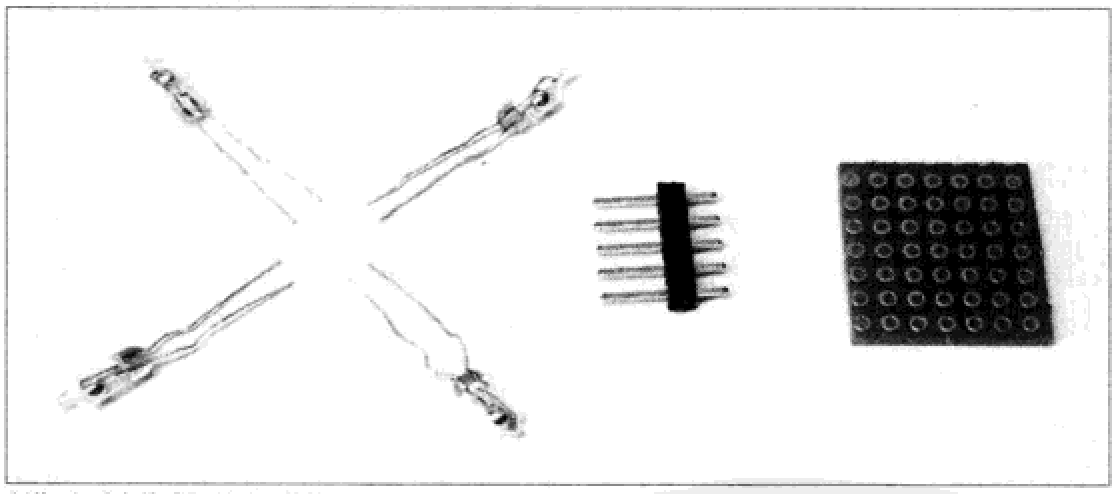
有一天在公园里散步，突然想到了水银开关。因为我在制作 SHOOK16 摇摇棒的时候，曾经考虑用水银开关作为摇摇棒的位置开关，可是后来改进了设计，用更简单的弹性导线代替了水银开关。水银开关其实是倾斜传感器的一种，如小灯泡一般的玻璃外壳里包着一颗光洁无暇的金属球，这颗小球便是水银了。汞，俗称水银，虽然是金属，但常温下是液态的。具备金属的导电特性，又总是光洁如新，不被污染的样子。小白兔的妈妈曾告诉我们，越是漂亮的蘑菇毒性越大，水银集光华于一身，对人也是有害物质。一不小心打破了玻璃外壳，应该立即把它收在瓶中密封，万不可不管不问，以免引起疾病。但大家也不要害怕，小心一点就行了，不至于



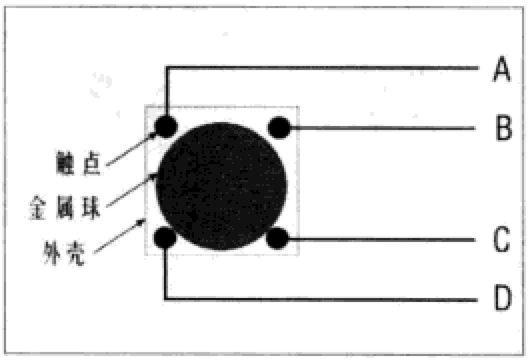
水银开关



6向重力传感器电路原理图



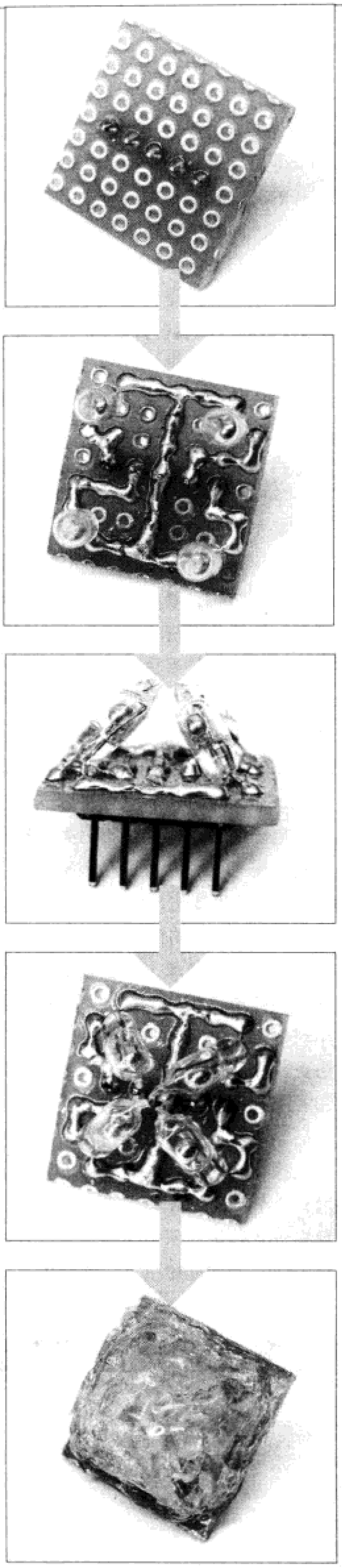
制作6向重力传感器所需元器件



金属球重力传感器结构示意图

过分恐慌。水银小球的旁边是两根金属丝，较长的一根始终与水银球连接着，较短的一根则在水银开关倾斜到一个角度时方可接触到水银球，使两根金属丝导通，起到开关之作用。到现在我还没有想明白，这颗水银小球是怎么被放进玻璃壳里的。水银开关虽然有“银”字，但价格并不贵，一只大约 1 元左右，各大电子市场都有销售。

正是想到了水银开关在一定角度的开关作用，我还想到按照耳前庭的结构用多只水银开关制作一款重力传感器。耳前庭是用 3 个半规管相互垂直来对应空间的三维坐标，我也可以用水银开关如法炮制呀。于是我试着在面包板上插入 2 只水银开关，并让它们平



躺在面包板上、相互垂直，形成空间的x轴和y轴。然后再插入第3只水银开关，使之竖立在面包板上，形成z轴。最后把这3只水银开关和电池、LED灯连接在一起，用LED灯显示水银开关的开关状态。当我把面包板旋转到各种角度时，LED灯的显示并不是有规律的，在某些角度下，LED灯的显示是相同的，并没有达到我预想的效果。嗯，是呀，耳前庭的结构只能给我启示，但那并不是实现我的6向重力传感器的最终方法。我还需要再思考、再改进，我相信离成功不远了。

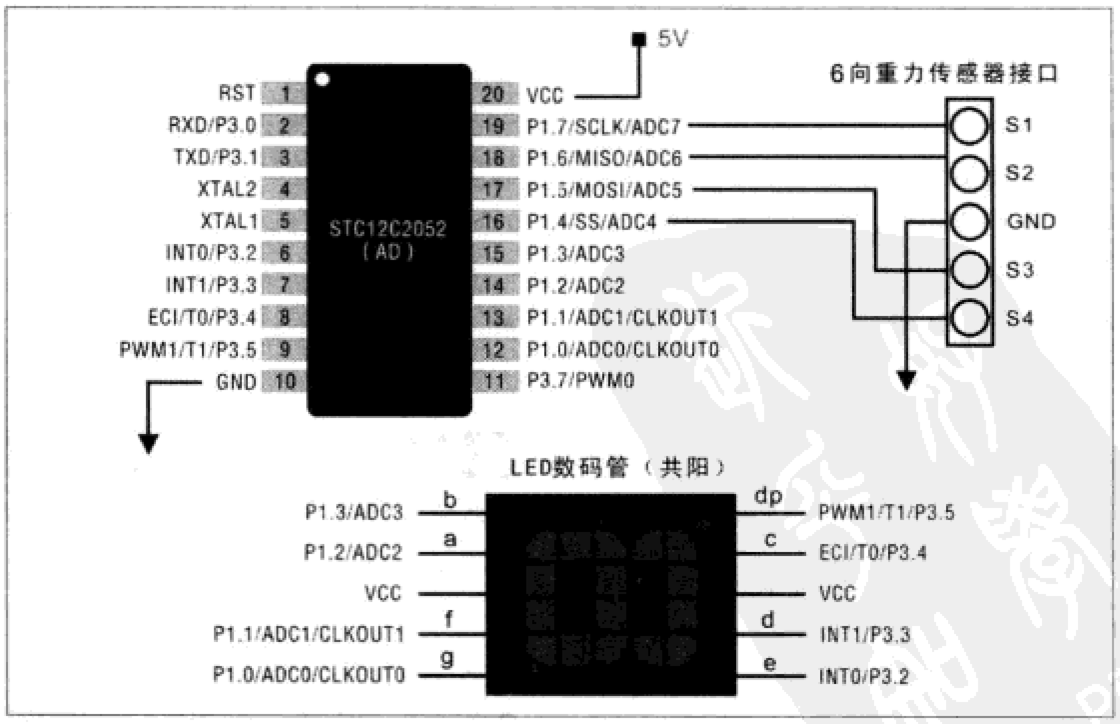
有时候人的联想真是奇妙，最后成功的方案设计竟是古埃及金字塔带给我的灵感。从小就喜欢看金字塔的探险节目，本以为那些知识只能满足兴趣，没想到我的大脑竟可以把它变成我的应用设计。在摆放了众多结构之后，X形金字塔（很酷的名字）的结构金光闪现。按照古埃及金字塔的结构摆放4只水银开关，就可以巧妙地在6个不同位置产生6种不同的开关状态，再把这些开关状态送入单片机处理，就可以感知到单片机系统在空间里的方位了。想到此时，不容停留，飞身来到面包板前，组建了X形金字塔，果然成功。下面就来介绍用X形金字塔制作6向重力传感器的方法。

大家请看“6向重力传感器电路原理图”，其中的4只水银开关的一端被全部连接在一起，形成公共端。每个水银开关的另外一端即形成S1、S2、S3、S4这4个开关输出端。判断4个开关输出端是否与公共端短接，就了解它们的开关状态了。这一点理解起来并不难，最关键的问题还是X形金字塔的制作。

首先准备一块小一点的洞洞板，在板中间的位置焊接一个5PIN的排针，当作传感器的接口。把4个水银开关焊接在洞洞板的四边上。注意是焊接在有焊盘的一面（背面）。按照电路原理图在洞洞板的背面用焊接走线法制作电路，把水银开关的引脚与排针连接。

把4只水银开关向洞洞板的中心弯折，玻璃壳的尖头聚在一起，形成金字塔的样子。注意它们的倾斜角度要尽量一致，最好和洞洞板的平面呈45度角。这样的结构实际上也形成了一个三维空间坐标，只是看上去不太明显。

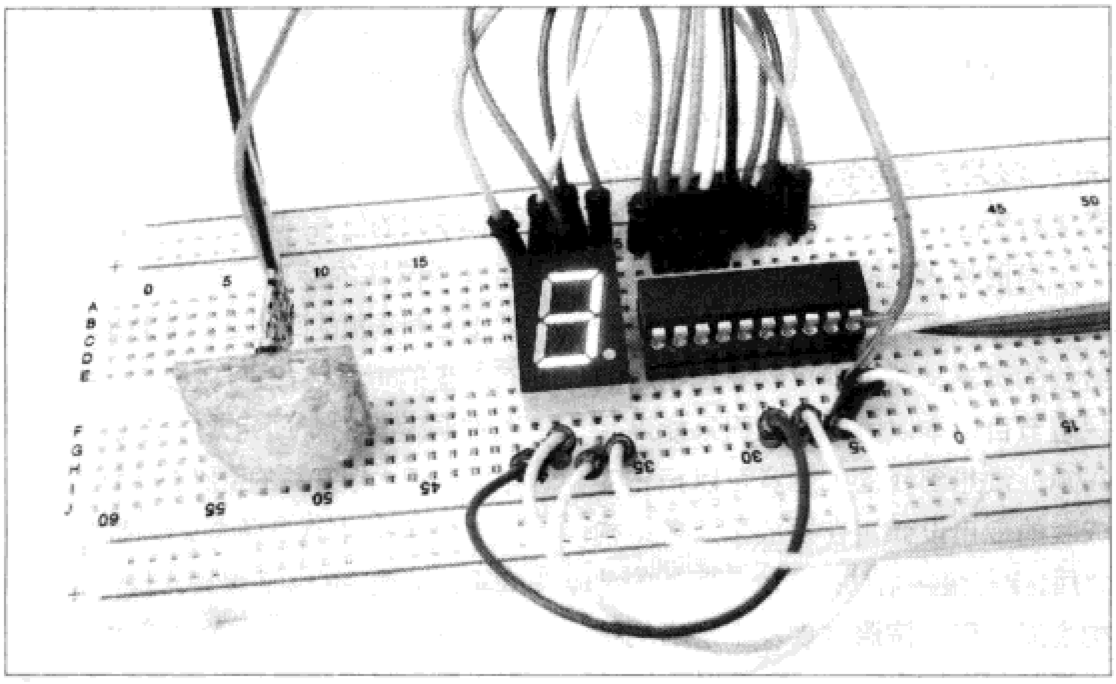
最后再把弯折好的水银开关部分用胶体封装起来，以防止撞击损坏水银开关的玻璃外壳。



6向重力传感器与单片机电路连接的电路原理图

以6向重力传感器电路原理图的摆放方式为准，传感器位置与开关状态间的关系如下：

数码管显示数字	位置朝向	开关状态
1	朝上	S1、S2、S3、S4与公共端短接
2	朝下	S1、S2、S3、S4均不与公共端短接
3	向左	S2、S4与公共端短接
4	向右	S1、S3与公共端短接
5	朝后	S3、S4与公共端短接
6	朝前	S1、S2与公共端短接



6向重力传感器显示电路

6向重力传感器制作完成，可是我们要怎么知道它的性能呢？我刚才说过，我最初使用的测试电路是用电池和LED灯组成的显示电路。但是为了在文章中让大家更直观地看到6向重力传感器的效果，我特意设计了一款单片机电路，将传感器的位置状态以数字形式显示在数码管上。为了让大家可以更方便的使用，我还公开了这个制作的源程序给大家参考，可以在《无线电》杂志的网站上找到源程序包。在单片机编程时，只要把传感器的信息当成开关量来处理就可以了，也可以加入按键去抖的程序，防止开关接通瞬间的抖动。

如果你认为我设计的这款6向重力传感器只能感知位置状态那就太小看这个设计了，其实它还有另一个重要的功能就是感知加速度，也就是速度的变化。听上去好像很神秘，其实并不难理解，说白了就是利用了惯性的作用。假设我们把这款6向重力传感器安放在汽车上，传感器正面朝上，汽车停止的时候4个开关都处于导通状态。当汽车突然向前加速，传感器里的开关会有什么改变？在惯性的作用之下汽车前方的2个水银开关（假设是S1和S2）中的水银球会移动到玻璃壳的顶部，S1、S2与公共端断开。后面2个水银开关由于倾斜角度相反，它们的水银球会保持在玻璃壳根部的位置。当汽车均速行驶时，S1、S2又会因失去惯性而落到玻璃壳根部，S1、S2导通。单片机只要测量这一变化也可以得知加速度的方向，测量S1、S2断开的时间长度，就可以了解加速度的大小。同样的原理也适用于刹车、左转向和右转向。如果传感器不是安放在汽车里，而是安装在手持设备上的话，那么我们就可以测量出设备是否在摇晃以及摇晃的剧烈程度了，方法同样还是判断开关状态和时间长度之间的关系。

再试着制作2个传感器，让它们在同一平面上形成45度夹角，你会发现你又多了一些倾斜角度的数据。如果你更有兴趣，用4个传感器再摆成X形金字塔的结构，看看会得到什么样的效果，看看你掌握了多少三维空间的细节。而这些扩展的内容我就不一一介绍了，心灵手巧的你自会热情思考。你可以把它安装在智能小车上，感知小车状态，也可以安装在手持设备上，作为位置传感，还可以安装在你的电子制作里，变化出另类的操控体验，更可以把它安装在汽车里，监控汽车的速度变化。用水银开关和X形金字塔结构制作的6向重力传感器，取材容易、制作简单、成本较低、性能却并不简单。相对与专业芯片和金属小球的传感方案，本文介绍的这种方法更适合爱好者DIY，也更有继续研究和扩展的可能。

杂志社的编辑老师独具慧眼，早在我撰写这篇文章之前就告诉我，这篇文章不仅在于制作6向重力传感器，更在于巧妙设计所带来的启发。那么我就谨以此文抛砖引玉，激起大家对巧妙设计的创作热情吧。

文章的最后，照常说一些制作过程中的注意事项：

- 水银具有毒性，制作时小心不要打破玻璃外壳。
- 摆放X形金字塔结构时注意各玻璃外壳之间保持一定距离。
- 在用胶封装之前请先测试并把水银开关调整到理想的应用效果。
- 使用更多的传感器成一定角度放置，可以感知更多的位置和角度。
- 水银开关导通瞬间存在抖动，在编程时需要处理抖动问题。

◎李文卿

电机进阶2——认识和使用步进电机

步进电机是一种将脉冲信号转化成角度变化或位置变化的一种控制元件，图1中给出了几种步进电机。步进电机的转动量取决于脉冲的数量，转速取决于脉冲的频率。在直流电机中我们给电机提供的是电压或者电流信号，而步进电机却要用脉冲去驱动（这里的脉冲跟直流电机PWM调速不是一个概念），它们的区别在哪里呢？直流电机中我们调节电压的大小或者是通过调节PWM、改变占空比等效地调节输入电压，从而改变电机输出力矩，以达到调速或是稳速的目的。步进电机一般有4～7根电源线，我们通过改变内部各相线圈的通断，使电机一步一步的执行。每一个步进电机的步距角都是固定的，而且在转动过程中不会产生角度的误差积累，这样在不丢步的情况下，通过改变脉冲我们就能对步进电机转过的角度和圈数进行精确控制。通俗地讲，对直流电机的控制其本质改变是力，而步进电机控制的是改变的量，所以它们在应用中不存在可比性。

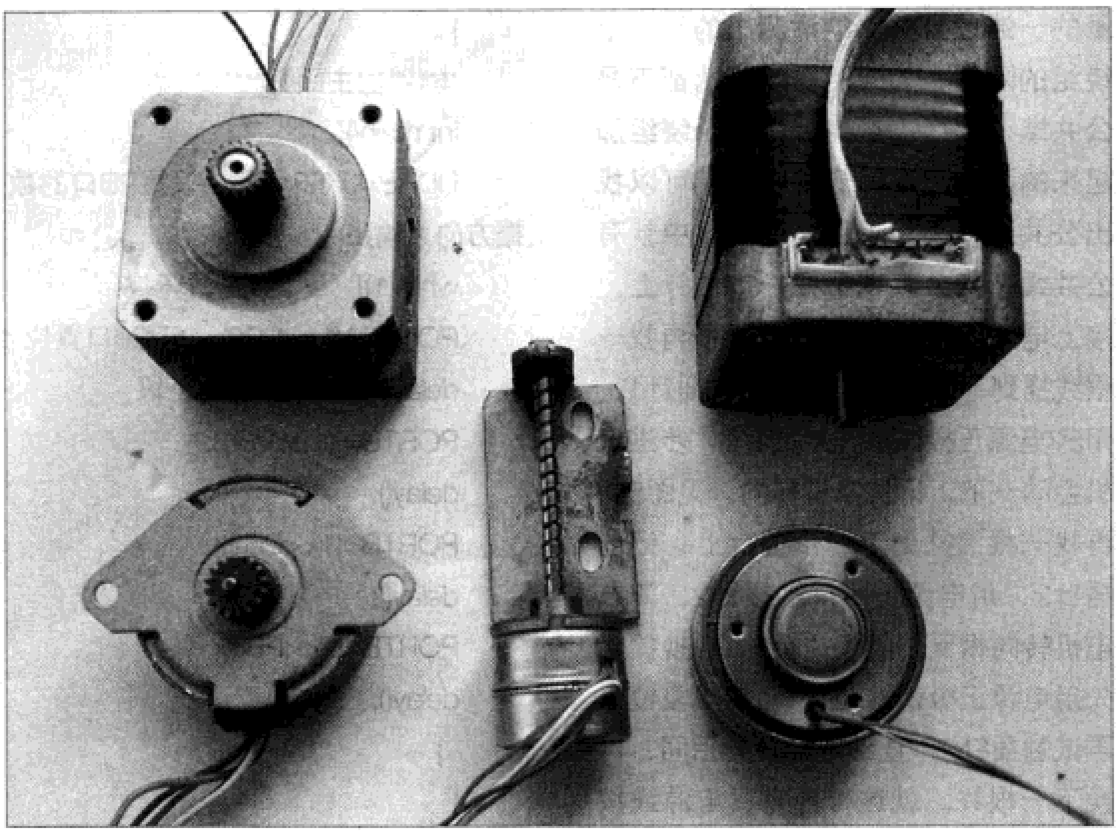


图1 常见的各种步进电机

步进电机在工业生产和机电一体化技术中有着广泛的应用，如数控机床中对毛坯精确定位就常用步进电机。在日常生活中也不陌生，如电脑光驱、软驱中就有步进电机。步进电机因能够被精确控制转动角度和速度，在机器人身上也能大显神通。

下面就简单地说一下步进电机的工作原理。只要是电机，最基本的部分就是线圈，步进电机也不例外。图2是三相反应式步进电机的内部结构，从图上可以看到有三对极子，每对上面都有一套线圈，线圈A、B、C一端引出来，另一端接到一起。

把公共端接地后，A相线圈通电转子在磁场力的作用下自动把齿与定子上的齿对齐，这样步进电机就走了一步。定子上的小齿与转子上的小齿并不是一一对应的关系，它们之间有一定的错齿，A相小齿与定子对齐时，B和C相上的小齿不与定子对齐，这样B相通电时转子与B相小齿对齐。如果按照A—B—C—A的顺序循环通电，步进电机就顺时针转动起来了，如果按照A—C—B—A的顺序循环通电，步进电机就逆时针转动。关于步进电机的原理，分类和参数标准请大家查阅相关资料，这部分的内容很多，网上和书上这方面资料也比较多，我在这里只教怎么用和使用时的一些小窍门。

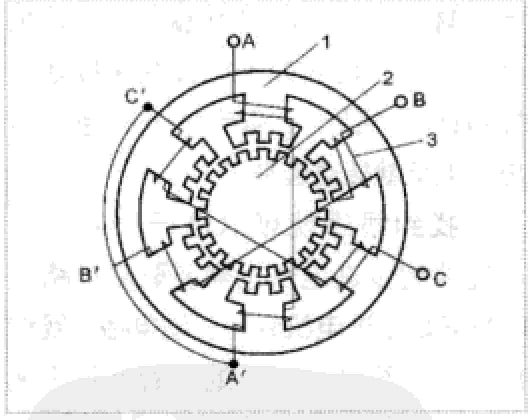


图2 三相反应式步进电机的内部结构

图3是我从旧光驱中拆出来的两个步进电机，如果你有坏光驱，可以拆出来耍耍，好的就不要耍了，拿下来容易装上去难，呵呵。我们先从右边这个看起来比较复杂的开始，图4中的这个电机乍一看有好几根线，怎么下手？究竟怎么接线？接错了会不会冒烟？别整得跟拆炸弹似的。其实也

没那么复杂，步进电机只要搞对通电顺序就明白了里面的结构。下面我来教一招找线序的方法，首先用万用表测任意两根线的电阻，随意找几组测完记住结果。你会发现这些阻值中只有两个数，并且其中一个是另一个的2倍，这是为什么呢？再看图2，如果测量的一端是公共端的话测出的是一个绕组的阻值，如果测量的两端都不是公共端，那么测量值就是两个绕组加起来的阻值，通过分析我们就可以找出公共端，因为阻值小的一组中就有公共端。把公共端插在一排插针上，接上电源负极记作插针0，随便再找一根线插到下一个插针上，记作插针1，用5V电源正极试触一下插针1，步进电机会动一下，记住电机转向，见图5。再找一根线插到下一个插针上，记作插针2，用电源正极试触插针2，如果电机转向相反，则把插针2上线换掉，先用电源正极试触插针1将电机复位，再试触插针2，直到电机转向相同，再换下一根线。就这样把电机电源线按导通顺序排成一排，如图6所示，大家可以看到5根引出线中有一根是公共端，4根相线，这个电机就是一个四相步进电机。现在如果把公共端接地，按插针1、插针2、插针3……的顺序通电，电机就转动起来了。

找到线序就可以进行控制了，不过控制步进电机也需要驱动电路，LM298是步进电机专用驱动电路，我们前面也介绍过，下面的实验就用它来完成。电路原理图在《无线电》2010年第4期直流电机部分已经给出了，实物如图7所示，注意LM298发热量比较大，需要用较大的散热片。

图8所示是把驱动电路和单片机连起来，IN1、IN2、IN3、IN4分别和ATmega16的PB0、PB1、PB2、PB3引脚连在一起。下面就可以开始控制了，程序也不长我就把它贴出来，看一看具体的控制过程：

```
#include<io.h>
**********延时函数*********
void delay(void){
unsigned int i;
for(i=200;i>0;i--){
  }
}
**********主函数***********
int main(){
DDRB=0XFF;        //设置PB口的数据方向为输出
while(1){         //主循环
PORTB=(1<<PB0);  //PB0口置位
delay();          //延时一段
PORTB= (1<<PB1);
delay();
PORTB=(1<<PB2);
delay();
PORTB=(1<<PB3);
delay();
  }
}
```

代码看起来好像一个流水灯的程序，其实也就是一个流水灯的程序。接通一相线圈后延时一段时间，然后接通下一相线圈，线圈通电顺序按照A—B—C—D—A的顺序循环执行的，步进电机就转动起来了。延时时间越短，电机转得就越快，但是力矩会变小，延时小到一定程度步进电机就不会转动了，而且会发出叫声。这是为什么呢？步进电机的内部是电感线圈，在通电时要产生感抗作用， 换相频率越高感抗作用就越大，电流越小，电流小了力矩自然会减小，这就是为什么步进电机转速越高力量越小甚至不能转动，所以步进电机换相时要保持足够的间隔时间。

在上面例子中步进电机线圈单相轮流导通的控制方法叫做单拍运行，下面再给出一段代码：

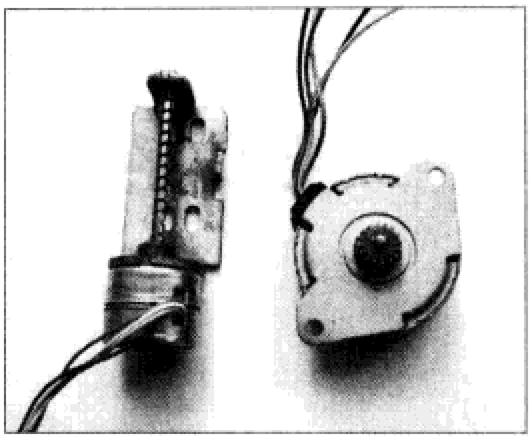


图3 光驱中的步进电机

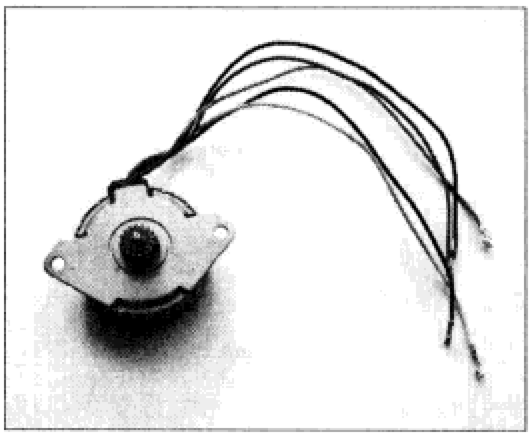


图4 步进电机带多根引线

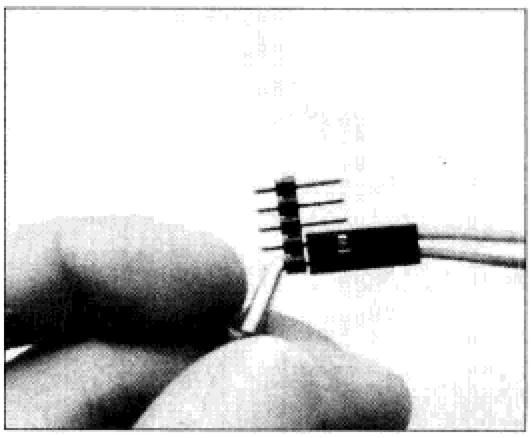


图5 查找公共端

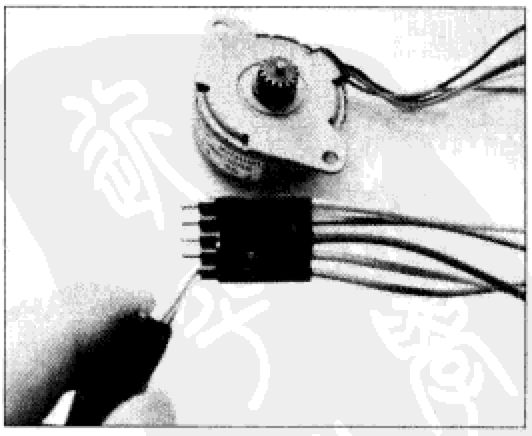


图6 查找线序

```
#include<io.h>
void delay(void){
unsigned int i;
for(i=200;i>0;i--){
  }
}
int main(){
DDRB=0XFF;
while(1){
PORTB=(1<<PB0);            //PB0口置位
delay();
PORTB=(1<<PB0)|(1<<PB1);   //PB0、PB1口置位
delay();
PORTB=(1<<PB1);
delay();
PORTB=(1<<PB1)|(1<<PB2);
delay();
PORTB=(1<<PB2);
delay();
PORTB=(1<<PB2)|(1<<PB3);
delay();
PORTB=(1<<PB3);
delay();
PORTB=(1<<PB3)|(1<<PB0);
delay();
  }
}
```

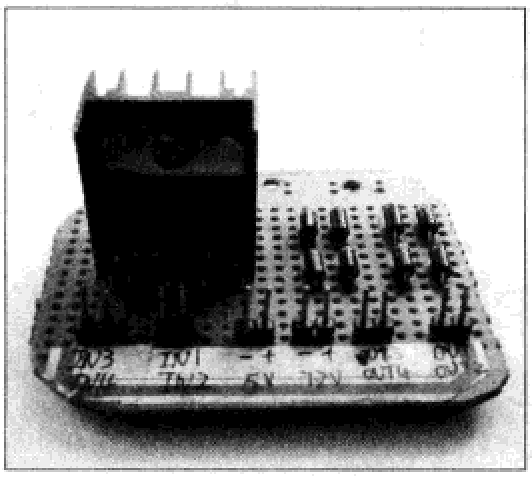


图7 驱动电路实物

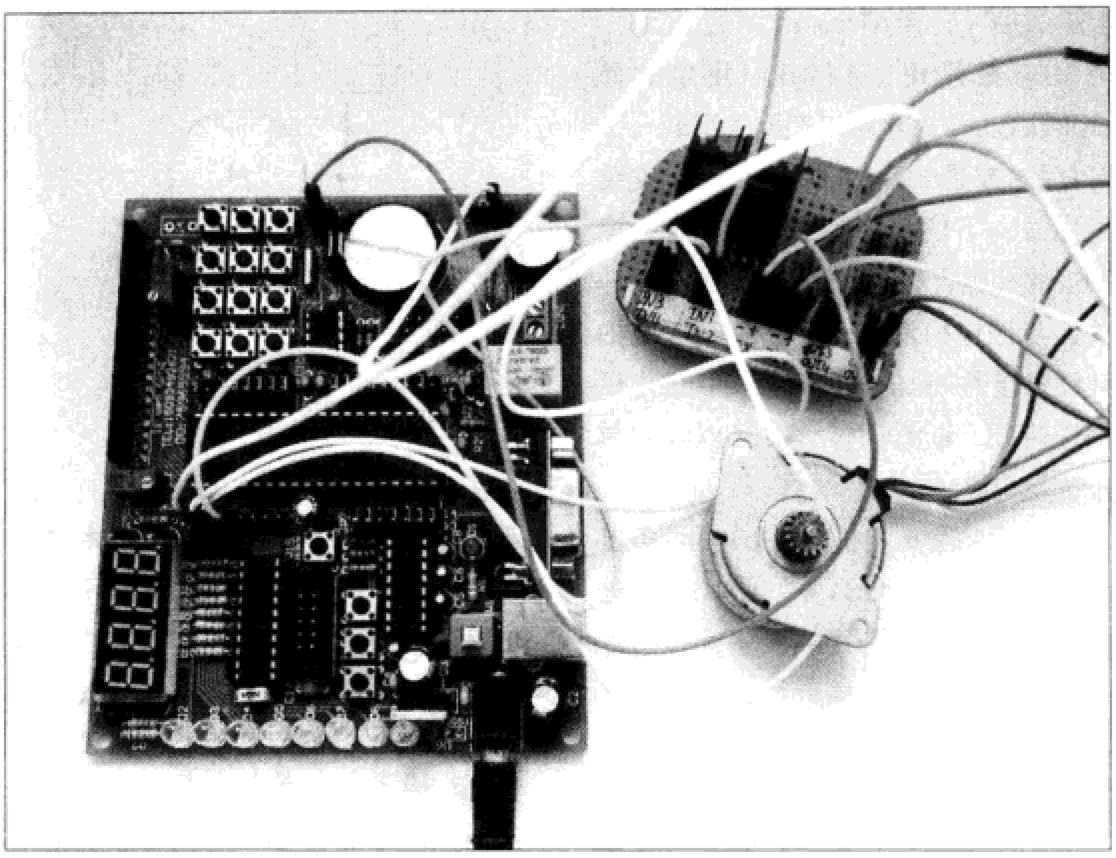


图8 连接好的电路

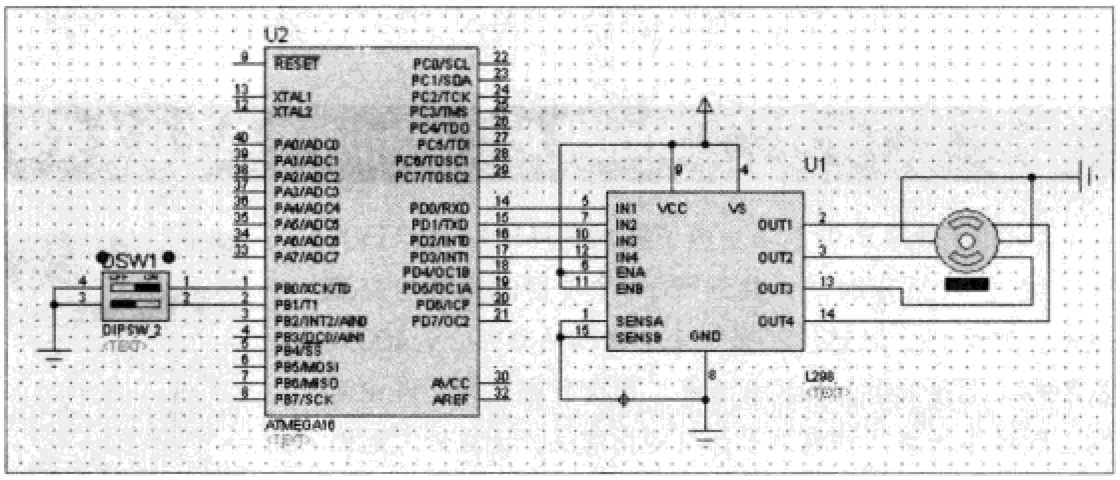


图9 proteus仿真电路截屏图

跟上一个程序相比各相在换相的中间又加了一个两相同时通电，线圈通电顺序是按照A—AB—B—BC—C—CA—A的顺序循环执行的，这样会有什么样的效果呢？我们不妨用一个例子解释一下，假设操场里有甲、乙、丙3个人站成一个固定的三角形，丁是可以移动的，甲把丁拉到身边，丁就在甲的位置，过一时间甲放开，乙把丁拉到身边，丁就在乙的位置，然后是丙，如此循环的话丁就会绕着3个人转圈。假设现在丁在甲的位置一段时间后，甲没有松开丁，但是乙也开始拉丁，这时丁就在甲乙中间的位置，再过一段时间甲松开了，丁就到了乙的位置，循环执行的话，丁就从原来的转一圈的3个位置，变成了6个位置。步进电机的工作和这个例子很像，加了两相同时通电后电机每走一步，角度比原来减小了一倍。这也是为什么步进电机的步距角都标两个数字，控制方法不同走过的角度也不同。

在仿真这个文件夹中我还放进去了一个步进电机的proteus的仿真电路，如图9所示。其中的步进电机是四相单级步进电机，步距角是

45°/90°，用ATmega16做MCU，驱动电路是用LM298。我用的是proteus6.9，大家可以在网上下载一个6.9版本或是6.9以上的proteus，安装以后做一下仿真，能很直观地看到控制规律和运行状态。接通PB0的拨动开关，步进电机双拍转动，断开时单拍转动，接通PB1的拨动开关，步进电机快速转动，断开时慢速，可以看到单步执行规律。

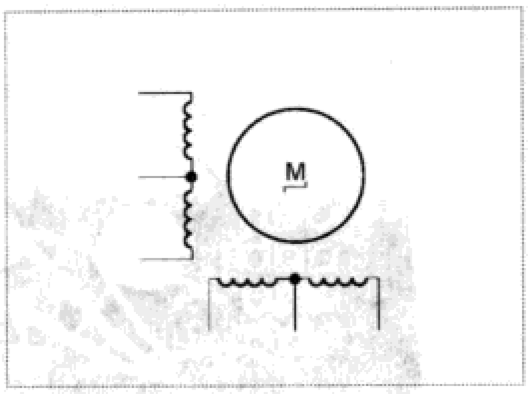


图10 步进电机的原理

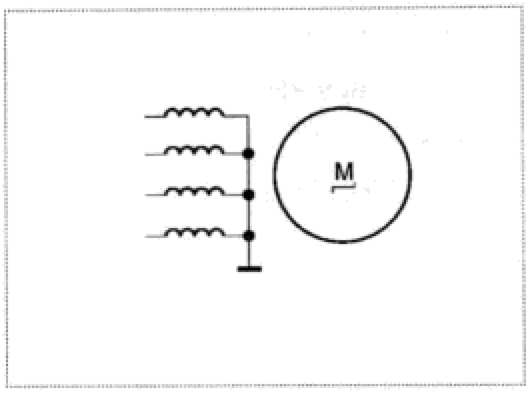


图11 6线四相步进电机

仿真中步进电机6条线中间两条接到一起共地是为什么呢？图10是步进电机的原理图，两组线圈中间那条线是两相线圈的公共端，两公共端连在一起接地后的效果图如图11，这也是6线四相步进电机的常见形式。

步进电机种类繁多，本文以两种常见的步进电机为例，对它的原理、识别、驱动以及控制方法简单地做了介绍。大家对它有了一个基本的了解，并且也能进行简单的操作了，但如果对步进电机更深入地应用还有很多学问。在要求精确控制的时候，每次转过一个步距角已不能满足精度要求，这时我们就要进行角度细分了。角度细分是通过控制两相线圈的电流比使转子转过步距角的1/n，而不是一个步距角。角度细分是通过驱动器和控制方法来实现的，跟电机本身无关，同时电机的相数将没有意义，因为我们不再是对相进行控制，而是对相间电流比进行控制。角度细化需要专门的驱动器，并且控制过程较复杂，不适合初学者操作，在这里就不再赘述了，网上这方面的论文、广告、介绍资料也很多，感兴趣的读者朋友可查找一下。

2009年北京市中小学生电子技术竞赛成功举办

2009年北京市中小学生电子技术竞赛于11月21日开始，经过3个周末时间，共进行了7个项目的竞赛与交流活动，共有18个区县、20多所中小学和活动中心近400人次参加，已于12月5日圆满结束。此次竞赛在原有理论答题、现场电子制作和电路设计与应用作品评比之外，还新增加了示波器与电路测试、与松下公司北京展厅的系列合作项目——电池实验室、松下电工工厂交流、电器维修讲座等活动。此次竞赛从形式和内容上做了很多新的尝试，目的是使竞赛真正达成其教育的功能，利用竞赛引导同学们学会做事、学会思考、了解生产、了解社会。

制作电池

在松下电工工厂参观与交流

同学们正在进行电路测试

参加电路设计与应用的学生进行答辩

指针式彩屏万年历

◎张坤

一、发现篇

前些日子，在自己的“仓库”找东西时，发现了一块没有玩过的芯片——DS1629(见图1)，看了看数据手册才知道这是一款数字实时时钟芯片，是从美信公司申请的样片。仔细想想，都已经半年多了，它经过“风吹日晒”，不知道还能不能用了，于是有了想去试一试它的想法。

前面只是大体看了一下数据手册，觉得它就是一款普通的双总线控制（I^2C或者叫TWI）实时时钟芯片，可是当仔细看完以后，发现它的功能多得不得了：实时温度检测，实时时钟检测，开漏时间/温度报警输出、其中的一个引脚的开漏输出还可以用于微控制器时钟输入，如此功能强大的芯片不好好利用一下真可惜啊，什么样的作品能充分的开发它的功能呢，你可能猜到了，对！那就是万年历。

说干就干，鉴于芯片使用的是双总线控制协议，我选取了ATmega系列单片机作为MCU。因为ATmega系列MCU机内置TWI硬件接口，正好可以简单方便地控制DS1629。有了MCU，那么用什么来作为万年历的显示呢？还记得参加全国电子设计竞赛的时候用了一款彩屏，显示效果相当不错，给各位评委老师留下了很深的印象，以致于我们取得了很好的成绩，^_^!我于是决定用它来作为显示，效果肯定很炫！

二、实战篇

由于在全国电子设计竞赛时使用过这款彩屏液晶，再加上DS1629芯片只有8个引脚（其中两个作为双总线控制MCU的TWI相连、两个作为晶体的输入端口、另一个是开漏时间/温度报警输出引脚，还有VDD和GND，最后一个

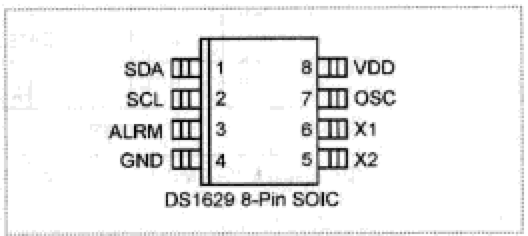


图1 DS1629接口图

是作为开漏输出的引脚），因此我三下五除二，硬件电路一会儿就搭完了（见图2），剩下的就是编程序了，这也是我觉得最难的部分，也是最有趣的部分！

虽然程序比较难，但是程序的框架我已经了解了，无非就是用TWI协议来操作DS1629，然后不断地将读取的数据显示在彩色液晶屏上，在操作这个芯片之前，我对ATmega系列MCU的TWI操作还不是很熟（这么说吧，我只是知道怎么用TWI来操作那些不需要数据返回的芯片，如数字电位计芯片AD5161，像这种需要将数据读取的TWI操作还没有实践过），因此这将是对我的一次挑战！

首先，我想先将DS1629检测的温度数据读取出来，可是奋斗了几天，看ATmega系列MCU的中文手册、DS1629的中文手册及其他各种手册，最后还是没有将DS1629的数据正确返回，难道是芯片坏掉了？不可能啊，芯片的各个引脚参数非常正确。我想问题还是出在TWI操作上，我开始向网友“求救”，在一个论坛上我看到了网友的一个TWI例程，按照网友的例程，我修改了程序的几个参数，结果数据正确返回了，虽然温度数据和真

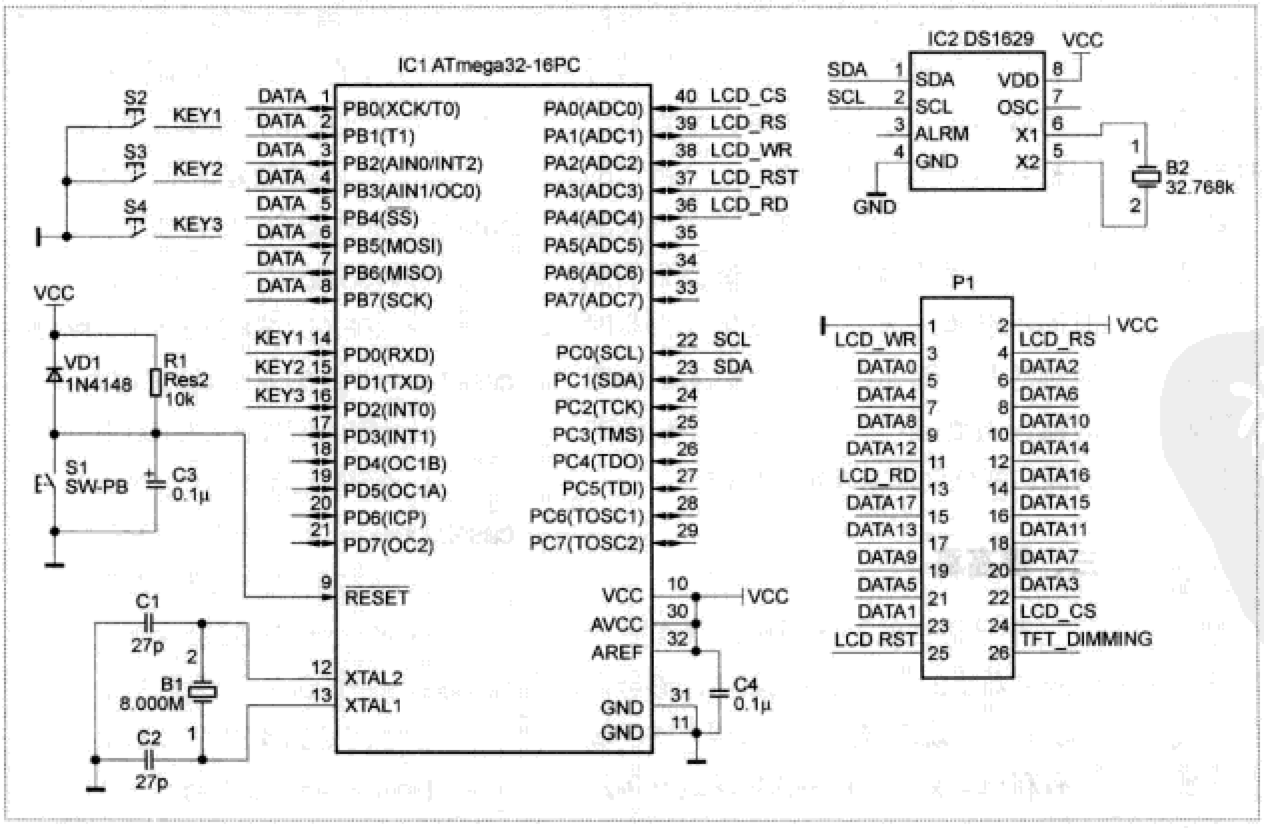


图2 硬件电路图

BYTE ADDRESS	BIT7 MSb	BIT6	BIT5	BIT4	BIT3	BIT2	BIT1	BIT0 LSb	BYTE RANGE
00h	CH	10 SECONDS			SECONDS				00-59
01h	0	10 MINUTES			MINUTES				00-59
02h	0	12 MODE / 24 MODE	AM/PM / 10 HOURS	10 HOURS	HOURS				01-12 / 00-23
03h	0	0	0	0	0	DAY			01-07
04h	0	0	10 DATE		DATE				01-31*
05h	0	0	0	10 MONTH	MONTH				01-12
06h	10 YEAR				YEAR				00-99

*DATE BYTE MAXIMUM VALUE RANGES FROM 28 TO 31, DEPENDING ONMON TH AND YEAR

图3 DS1629时钟寄存器格式

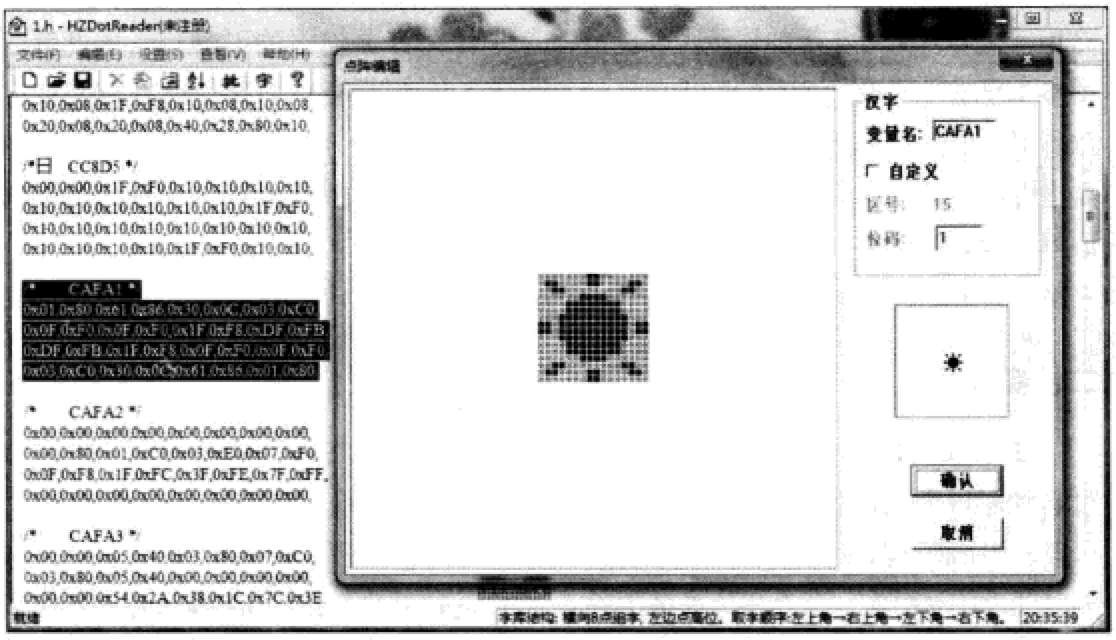


图4 HZDotReader软件界面

实的数据有差距,但是我还是很高兴(这个差距不是因为数据不正确，而是因为 DS1629 返回的数据是 16 位的数据，其寄存器格式见图 3，而液晶屏显示需要的是十进制的数据，只需要转换一下就可以)，这意味着 DS1629 的时钟数据我也可以按照读取温度的方法读取出来。

在成功地将数据读取、转换之后，我首次正确地将数据显示在了彩色液晶屏上，显示出：****年**月**日、**时**分**秒、温度**℃、星期**，虽然基本上完成了万年历的功能，但是老感觉缺少点什么，于是仔细一想，不如再把天气的信息加到屏幕上吧。可是天气符号在字库中没法找到，只能自己“造符号”，于是从网上下载了一个软件——HZDotReader（大家应该用过，很经典的一款字模提取软件），见图4，终于一个能够显示时间、温度、星期、天气信息的彩屏万年历就出现在了我的面前，尽管自己在初学单片机的时候做过一个类似的万年历，但当时使用的是1602液晶屏，显示很不清晰，而且最致命的是时间不准确，因为当时没用什么实时时钟芯片，而用的是单片机内部的定时器，看到这样炫丽的画面、精确的时间，我感到非常非常地欣慰！

三、提高篇

在日常生活、学习中，我不是一个浅尝辄止的人，在做完基本的彩屏万年历后，发现彩屏还有一块很大的区域没有利用，怎么才能将这块区域利用起来呢？难道还要在剩下的区域内写点字、画个画，干一些很“俗”的事吗？！苦思冥想了一段时间后，突然一个想法冒了出来：要不再做一个指针式的时钟去配合着数字的时钟。这个我还没有做过，正好是一个机会能让我更加熟悉这款彩色液晶屏。

剩下的日子就是与这块彩色液晶屏打交道，由于它没有字库，写汉字要自己编字库很麻烦，但是它的优势就是可以随意地去画图形，可以很轻松地操作每一个点。彩屏是从一个淘宝店里买的，当时热心肠的老板给了很多子函数，比如画点函数、画直线函数、画矩形函数，画圆函数等。比照着子函数的代码，我自己编了一个指针时钟子函数，它类似我们平时见到的手表，内部用绿色填充，时钟的数字用五颜六色描绘出来。

与前面画出这个指针时钟轮廓相比，更为复杂的是怎么控制时针、分针、秒针随着时间的变化而变化。因为在每一次改变时间的时候你不但要将当前时间对应的针显示在彩屏上，还要将上一个时间对应的针在彩屏上去掉。

如下列程序所述：

当指针指在12的位置时，要先将上一次指在11的位置指针和下一次指在1的位置的指针删除，在case0：中，前两个Line函数起这个作用。

```
case0:Line(68,95,66,80,20000,0);
      Line(68,95,70,80,20000,0);
      Line(68,95,68,80,str_col,0);break;
case1:Line(68,95,68,80,20000,0);
      Line(68,95,71,80,20000,0);
      Line(68,95,70,80,str_col,0);break;
case2:Line(68,95,70,80,20000,0);
      Line(68,95,72,81,20000,0);
      Line(68,95,71,80,str_col,0);break;
case3:Line(68,95,71,80,20000,0);
      Line(68,95,74,81,20000,0);
      Line(68,95,72,81,str_col,0);break;
case4:Line(68,95,72,81,20000,0);
```

```
        Line(68,95,75,82,20000,0);
        Line(68,95,74,81,str_col,0);break;
case5:Line(68,95,74,81,20000,0);
        Line(68,95,77,83,20000,0);
        Line(68,95,75,82,str_col,0);break;
```

case的情况有60种，这就意味着要想编出这些代码需要很大的空间。在编程时果然不出我的意料，编完时针代码，ATmega16的flash就已经用光了，于是换上了芯片ATmega32，它的flash是前者的两倍。更换了MCU以后按照时针的代码，经过几次简单、枯燥的调试，我成功地将分针、秒针的代码编写了出来。说它简单，是因为在调试时你只需要等待就行，说它枯燥是因为你每次都要等上十几分钟才能确定每个时间上字符时钟与指针时钟能够对应起来。在调试了一个上午后，终于指针时钟可以按照字符时钟显示的数字正确地摆动。此时，一个指针时钟就完成了。

四、完善篇

在完成了指针时钟以后，觉得没什么可做的了，于是暂时就先把它放到了一边，忙考试去了。考完试后，有一天我把它拿出来炫耀一下，几个朋友在看到我的设计后很是崇拜，这满足了我一点虚荣心^_^。但是另一个声音引起了我的注意：你的这个时钟可以设置时间吗？哇！我怎么把这茬给忘了呢！估计当时是被考试给弄晕了。于是又找出源代码，开始了另一段“编程生涯”，在编程时，我犹豫了，是设置时间时只改变字符时钟而不改变时针时钟呢，还是两者都要改呢，如果要是选择前者，那么这个就很简单，要是选择后者，那么程序还要增加很多，因为在设置指针时，原来的指针函数应不能再使用了。只记得，当时心想都已经做到这种地步了，程序都编得这么多了也不差这一点。现在看着自己编的程序，觉得很佩服自己当时的想法！因为将所有的程序都编出来以后，ATmega32的flash用了98%，差点就逼我用ATmega64了。

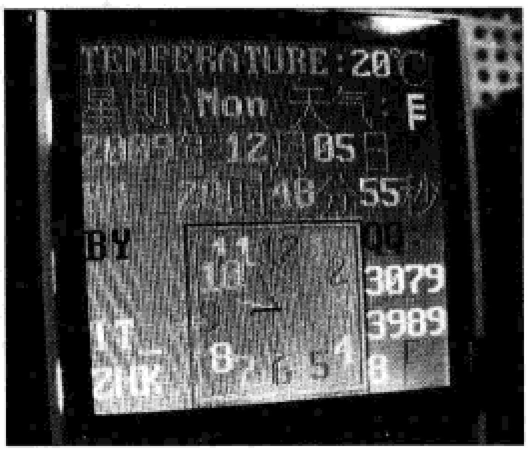


图5 最后的作品

五、总结

现在回过头来想想，都不敢相信这个程序是自己编的，因为这是迄今为止我编过的最大的程序，有一千多行，而且用了将近20个子函数，其规模庞大可见一斑。

在做完这个设计以后，自己收获很多，一个程序的设计从小到大，从简单到复杂，每一个环节都是紧紧相扣的，任何一个地方出现问题都可能导致这个程序的混乱，因此写程序、设计作品要踏踏实实才能进步！

以上就是我设计的作品，如果大家有这些器件的话可以自己尝试一下，最后的作品见图5。

相关链接

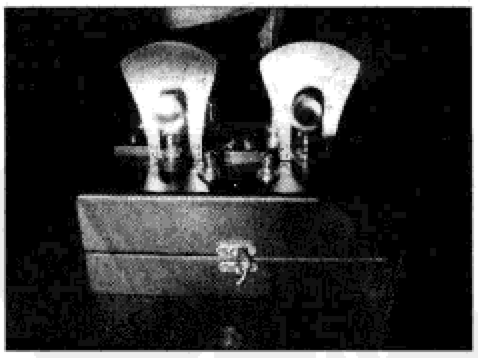
用模拟仪表表头做的指针式电子钟

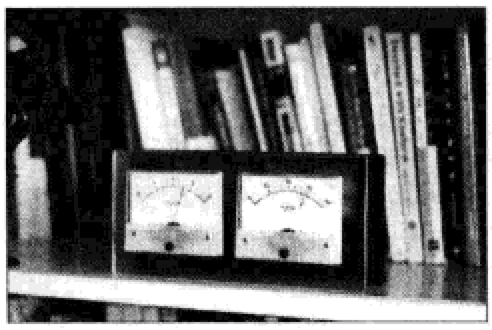
◎资料室

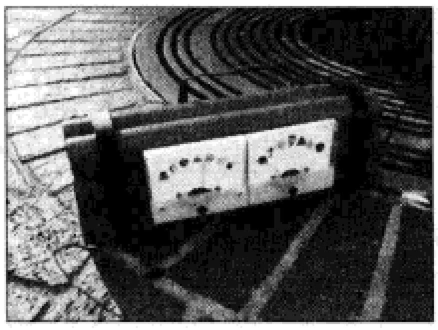
除了在彩色液晶屏上显示的指针式万年历，网络上还有一种叫做Chronulator的电子钟，它采用2个指针式电流表头来显示时间，把小时和分钟的读数转化成2个电流读数，再加上精美的机壳，就做成了别致的电子钟。

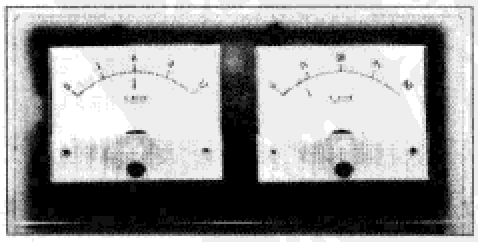
多数电子钟采用数码管、LED点阵屏或液晶模块显示时间，这种指针式的电子钟则给人既新颖又复古的印象，看惯了模拟仪表面板的人会觉得十分亲切。虽然它比较耗电（工作电流约200mA），但还是很有创意的，就当是一件艺术品吧。

感兴趣的朋友，可到http://www.sharebrained.com/chronulator/欣赏一下。









没有琴弦的电子琴

◎张俊

没有琴弦的琴怎么能弹奏呢？对于我们玩电子的人来说，那到未必，今天我就给大家做一个没有琴弦的琴，让大伙儿弹弹！

说是没有琴弦，那只是相对于我们的视觉，弦头与弦尾之间除了空气之外，其实还暗藏玄机——那就是红外线，准确地说我做的是一个红外琴。

无弦琴的组成

图1是做好的无弦琴的外观，琴弦是由一对红外发射、接收头组成的，一共有8对这样的琴弦，可以弹奏16种声音。有一个按键用来切换，当按下时有8种声音，没有按下时也有8种声音。这个无弦琴还有另外两种功能，就是按键弹奏16种声音并能播放两首曲子。

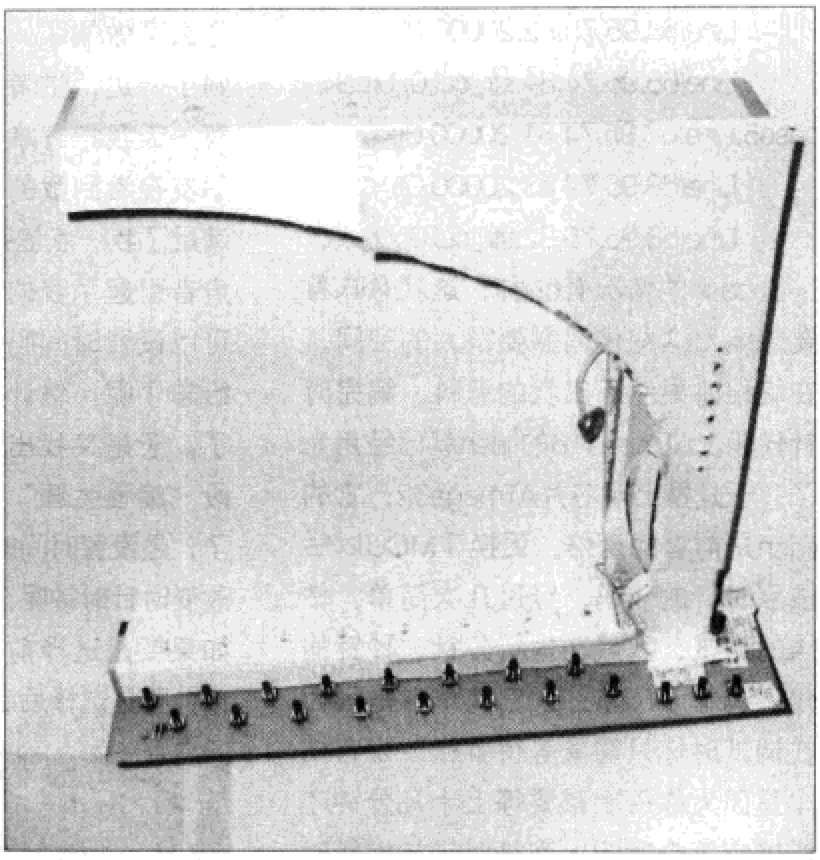


图1 无弦琴的整体外观图

电路原理

无弦琴总体可以分为红外发射、红外接收和单片机控制3个部分。首先说说红外发射：其实它是一个555电路，用555产生38kHz频率的信号。当然有的朋友可能说可以用单片机来产生，这个是仁者见仁，智者见智了，只要能产生38kHz，单片机也可以。把该信号用三极管放大供8个红外发射二极管使用。由于红外发射二极管的耐压为3V，而通过三极管后的电压有4.3V左右，考虑到二极管的正常工作，设计中采用两个串联再一起并联的方式，见图2。这部分简单吧？只要学过一点电路的都没有问题的。

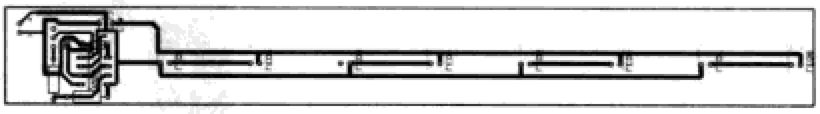


图2 红外二极管发射电路

本人是按照书上的555电路直接画的PCB，那些电容、电阻怎么匹配就看大家手上有多少的了，我是用一个滑动电阻来取值的，再进行匹配，实物图见图3。

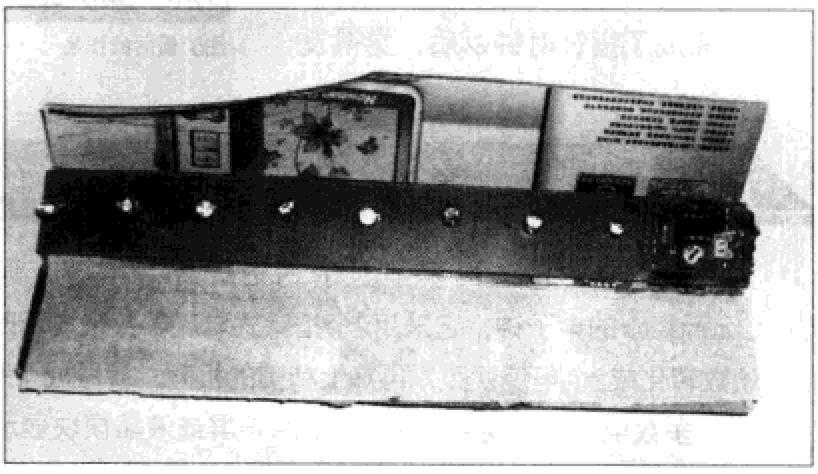


图3 红外发射部分

红外接收由两个部分组成，实物图见图4，一个就是8个红外接收头，一字排开，他们的间距要和上面的红外发射头的间距完全一样，不然会相互干扰，后面再说。另一个就是矩阵键盘，矩阵键盘怎样排版这个也看大家了，在我制作中有一个致命的问题，就是只注重元器件的排布而忽略了它们其实也是有一定的规律的，一般就是上面4个P口与下面4个P口相互交叉的地方安一个按键。我有的按键两端都是连接在下面的4个P口上，后面花了很大的功夫才改过来，这一点希望大家注意！红外接收头则比较简单了，它只有3个引

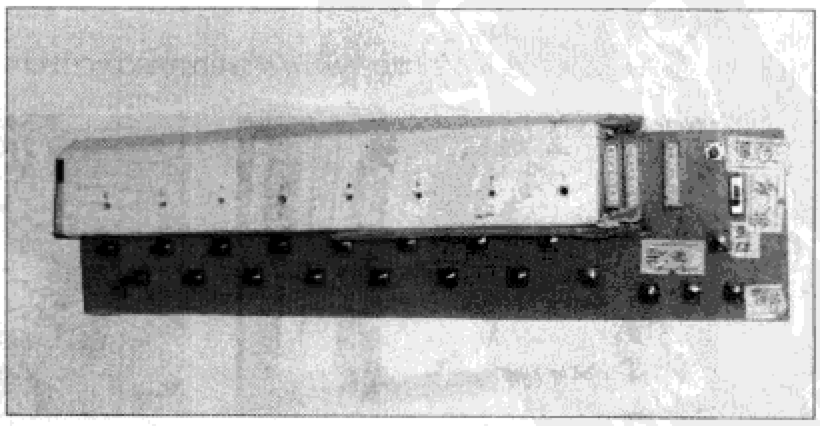


图4 红外接收部分

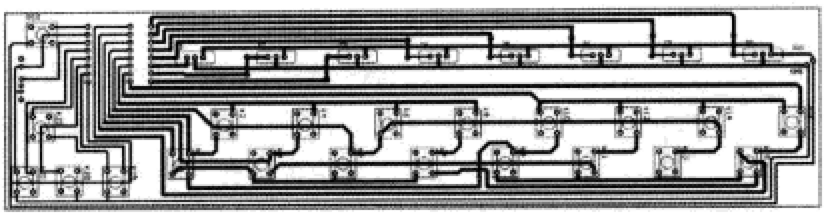


图5 红外接收与琴键电路

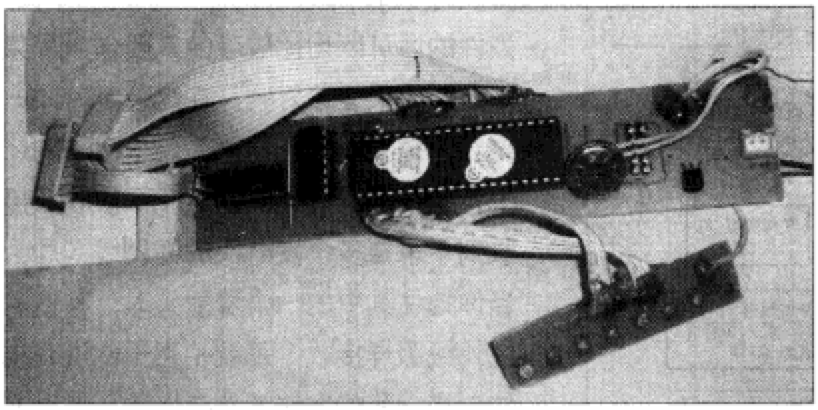


图6 单片机控制部分

脚，其中接地和接电源的都是并联的，输出端则用排线引到74LS14上进行数字处理，因为它输出的有时是线性的，为了更好地接收，就用施密特管子处理后输给单片机，这部分电路也很简单，见图5。

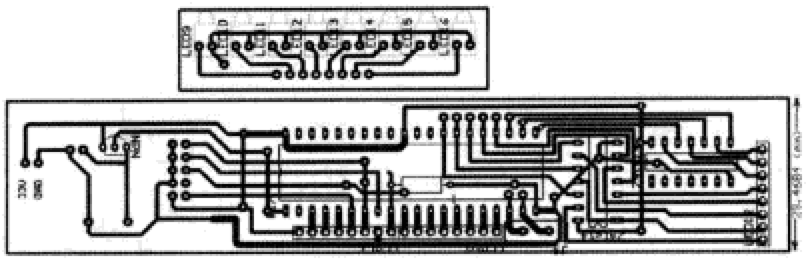


图7 单片机控制电路

最后介绍单片机控制电路，见图6。一共就3块芯片，一片单片机和两片74LS14，74LS14的作用上面已经讲过，单片机外接一个扬声器，其实就是一个废弃的耳塞，按照蜂鸣器的接法来接就可以了，实物图见图7。另有8个指示灯连在74LS14的输出端，同时也是单片机的输入端，它们会在弹奏时随着你的指尖滑动而依次点亮，起到美观的作用，也是方便调试时使用。74LS14输出的电流驱动发光二极管绰绰有余。还有就是引出ISP，进行调试使用的。

这个无弦琴系统电路就是这么多，怎么样？是不是很简单啊？

图8是整个系统的原理图，感觉满满的，乍一看可能吓一跳，但看仔细了就会发现很多元件只是重复地增加数量而已。

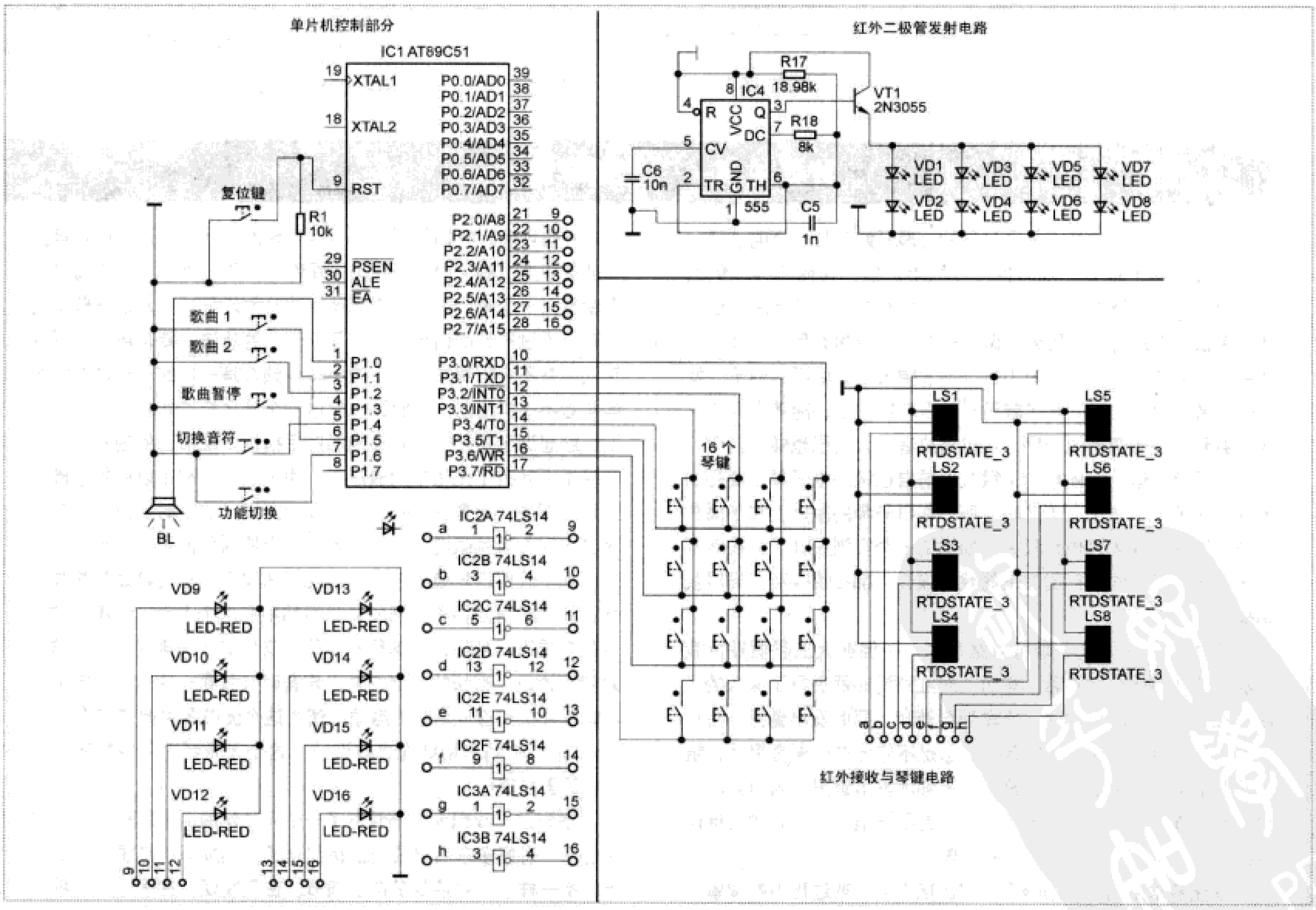


图8 无弦琴原理图

说完了电路再说说我在制作中遇到的一些麻烦吧。

首先就是红外发射和接收要对齐，因为只有对齐了，所有的接收头都接收到对射的红外线，输出的电平都一样。若有一个没有对齐时就相当于你用手挡住了，单片机会默认你在弹。画PCB时大家应该没什么问题，把距离设定一下就可以了。就是在安装时很麻烦，我是用MP4的包装盒做的，虽说纸质是挺硬的，但做骨架就不是很稳定了——会晃，这样会导致这个对齐了那个又没有对齐，你在没有弹时电路也默认你在弹，一直在响，很是郁闷。这个只有大家做出来后慢慢体会了。

软件部分的流程图见图9。软件部分是从最初的电子琴的基础上一步步加进去的，由P0.0作为演唱曲子和弹奏曲子的切换键，弹奏是红外弹奏和按键弹奏同时的，他们没有优先级，可以混合弹奏；演唱曲子部分是有两首曲子组成，有一个复位键和两个曲子键，就这三个按键。

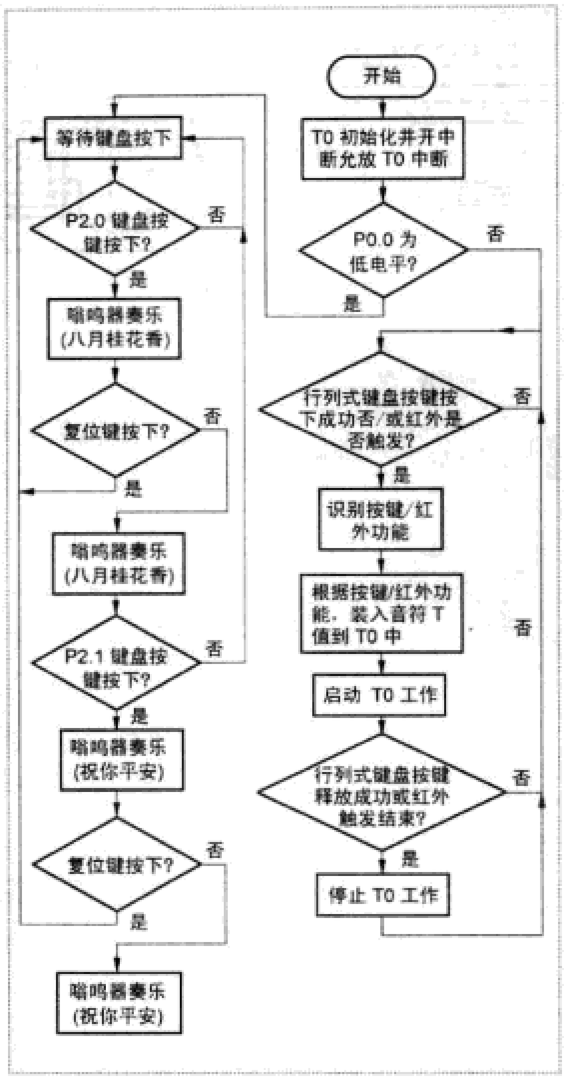


图9 无弦琴流程图

以上就是整个无弦琴的硬件和软件部分了，我设计这个无弦琴原本应该是一个可以拿出去炫耀一番的礼物，可惜外观做得实在是太难看了，大家也看到了实在是拿不出手，各位如果有条件的话可以用比较硬的东西作为骨架来做，效果应该好些。在组装的时候一定要注意发射头和接收头是一对一的，千万不要有干扰啊，不然一个接收头接收到了来自多个发射头的红外线，那么当你挡住其中的一个发射头时，其他的红外线照样接收，那就相当于你没有挡住一样。我的做法就是在接收头的上方盖一层硬纸，再在纸上打个小小的洞，使其旁边发射的红外光不被照射到接收头上，见图4，效果还可以。如果不行就用黑色介质吧，这样可以吸收多余的红外线。大家要是有兴趣的话也可以去尝试尝试，希望这些能够帮助大家做出一个可以拿出去炫一番的礼物或者留给自己的纪念品。

背景故事——无弦琴诞生记

做这个琴其实也是有一个过程的，最开始时是一个电子琴，这方面资料网上很多，那时候刚接触单片机，按照资料提供的程序原原本本地烧进去，当听到单片机按照自己的设计来发出声音是多么令人兴奋！相信大家做第一个实验成功时都有同样的心情吧！后来感觉不过瘾，因为自己不会弹出什么好听的曲子，发出的声音很单调，时间长了就没有什么新鲜感了。随着学习的深入，看到一些蜂鸣器的程序，可以播放音乐，自己也做了几个，感觉还不错，这个时候想到了很久以前自己做的电子琴，要是加上这些曲子那不是更完美了吗？所以在电子琴的基础上加了播放曲子的程序，其实这也是我大二期间的一个实训设计了，在老师验收的时候班上同学都围过来看我的设计，都在惊叹啊！当时我别提有多高兴。

原本觉得这个电子琴可以结束了……但在大三暑假期间我参加电子竞赛培训做避障小车时，对红外传感器进行了深入的了解，每次用手做障碍物时，小车都会转弯，同时发出警报，在多次调试时，为了体现自己的存在，总是不停地在小车旁晃动，结果整得小车左也不是右也不是，还不停地发出警报。因为晃动的频率不一样，所以小车发出的声音也是不停地变化，好像在诉说自己的不满与无辜，当时感觉很得意。

在比赛结束后，大家坐在一起回忆当时比赛过程中的趣事，当然也包括我“虐待”小车的那段，他们说：“当时你老是让小车不停地叫，我们都听烦了，但想想当时我们都是在极其紧张和疲惫中度过的，也不好意思打断你一时的‘雅兴’，能高兴一个就高兴一个吧，总比个个都愁眉苦脸的好吧！”真是一群哥们儿啊，不过他们的话也让我有了一个新的想法，要是声音好听点那他们就不会听着烦了。不像小车，频率是一样的，只是响的时间长短不一样而已。当时还愁着送一个什么样的礼物给久违的朋友，就想到了用多个红外管来感应手指以体现自己的独特性，这时基本上就有了无弦琴的雏形了。说干就干，有了以前的基础和十足的理由，于是立马开始构思设计方案，这个时候当年的电子琴又出现在我的眼前了，我只要在那个能播放曲子的电子琴的基础上加上几对红外装置就可以实现无弦琴了，那时真是越想越痛快，在做的时候恨不得把所有时间都用在这个上面，在不影响上课的前提下，从设计到编程和制作我仅仅花了一周的时间，这个对我来说还是很快的，当它发出声音时，我再一次有了当年第一次做单片机实验成功时的激动心情，这个无弦琴可是完完全全的DIY，从以前的套用到现在的设计，这个无弦琴可以说是我学单片机的里程碑！

说到这里我想大家都看到了一个无弦琴的诞生历程吧，其实在生活中有好多东西只要我们稍加升级，稍加深入细想，情况马上就不一样了，生活就是在于细节、在于发现、在于运用。希望我以上写的能够给广大朋友一个抛砖引玉的作用！

单片机控制的无线遥控多用电源

◎黄培鑫　陈歆　黄忠峰

问题的提出

我国是一个人口众多的大国，又是一个各行各业都在不断发展的发展中国家。在我们国家中，支撑人们生活和国家建设所需的电力资源十分紧缺。所以，节约电能一直是国家提倡国民要注意的一项政策。

随着科学技术的不断发展，各种各样的用电设备也越来越多，其设备的待机耗电也越来越严重。由于人们要考虑到设备的使用方便，所以这种耗电只能用“无奈”来面对。

本文介绍的单片机控制的无线遥控多用电源可以较好地解决这个问题。

性能特点

无线遥控多用电源的外形如图1所示。它具有以下性能特点：

1. 将多个电源插头进行集中控制，将多头的电能损耗降低为一个电能损耗，达到节约电能的目的。

2. 具有无线遥控控制，使被连接的设备使用更为方便。

3. 可以提升电器设备的使用功能，如：使电风扇具有遥控功能，通过改变程序还能将它变成具有模拟风的电风扇。

4. 通过一个功率转换器装置，可以连接大功率的电器设备，如电水壶、取暖器、空调器等。

5. 遥控、接收采用编码设计，遥控干扰小。

6. 采用单片机设计的控制电路，整机性能稳定可靠。

工作原理

图2是无线遥控多用电源的方框图。图3是无线遥控多用电源的电路图。

遥控接收模块接收到发射器的遥控指令后，经过4只二极管组成的与门送到单片机的4个输入端。单片机接收到指令后，通过内部CPU的处理，分别从4个输出端输出，最后控制继电器的触点动作，以接通电源插座中的电源。同时4个指示灯和蜂鸣器发出状态提示信号。

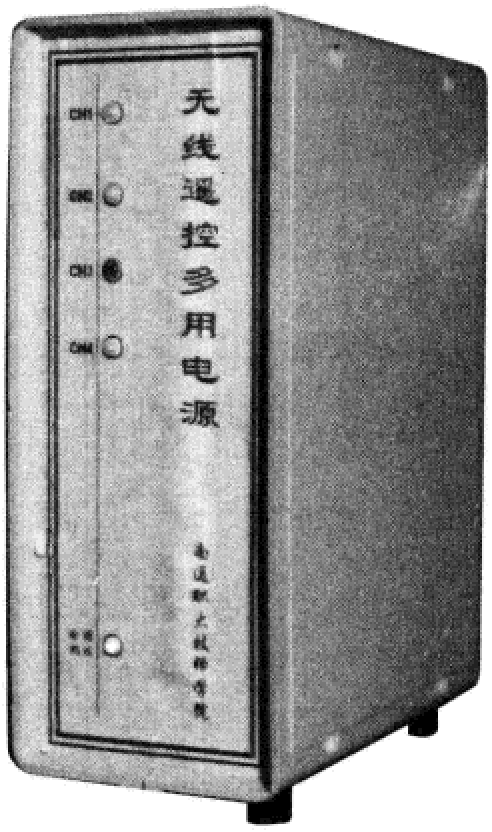


图1 实物外形图

遥控接收模块可以接收发射器的4个遥控指令，其作用分别对应于发射器上的“A”、“B”、“C”、“D”4个按钮。

当按下发射器“A”按钮，经过编码、调制、高频放大，最后通过天线向空中发射。接收模块接收到无线信号后，经过解调、解码等处理后输出控制电压信号，从“a”端输出，经VD1送到单片机P3.0口。当CPU接收到P3.0口指令后，CPU内部处理，使P1.2口输出高电位，VT1导通，继电器K1吸合动作，K1中的常开触点闭合，从“插座1”中输出220V交流电压，以供各种电器设备使用。由于电路中继电器K1的触点电流仅为10A左右，所以从“插座1”输出的电源功率不大，只能作为500W以下的电器设备使用。如果要接入空调或取暖器，应加接一个“功率转换器”，否则会损坏继电器触点和线路。“功率转换器”将于后文介绍。

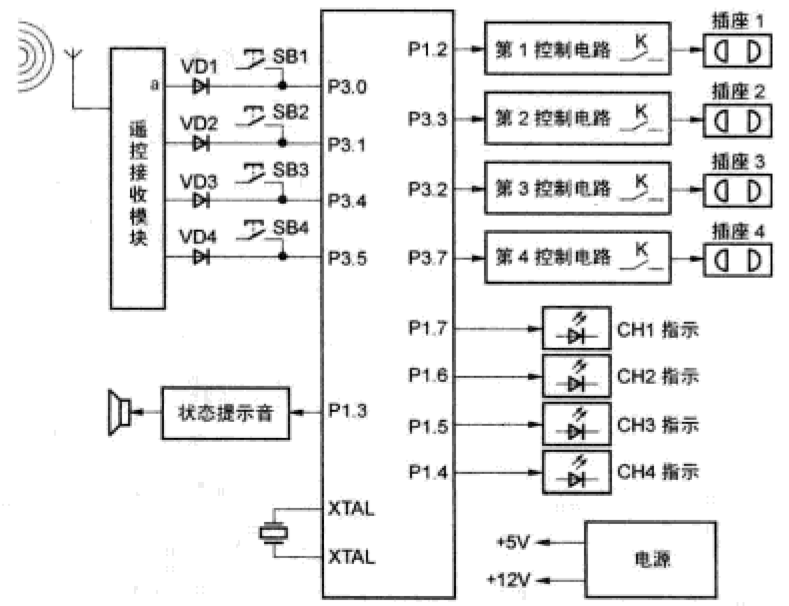


图2 无线遥控多用电源方框图

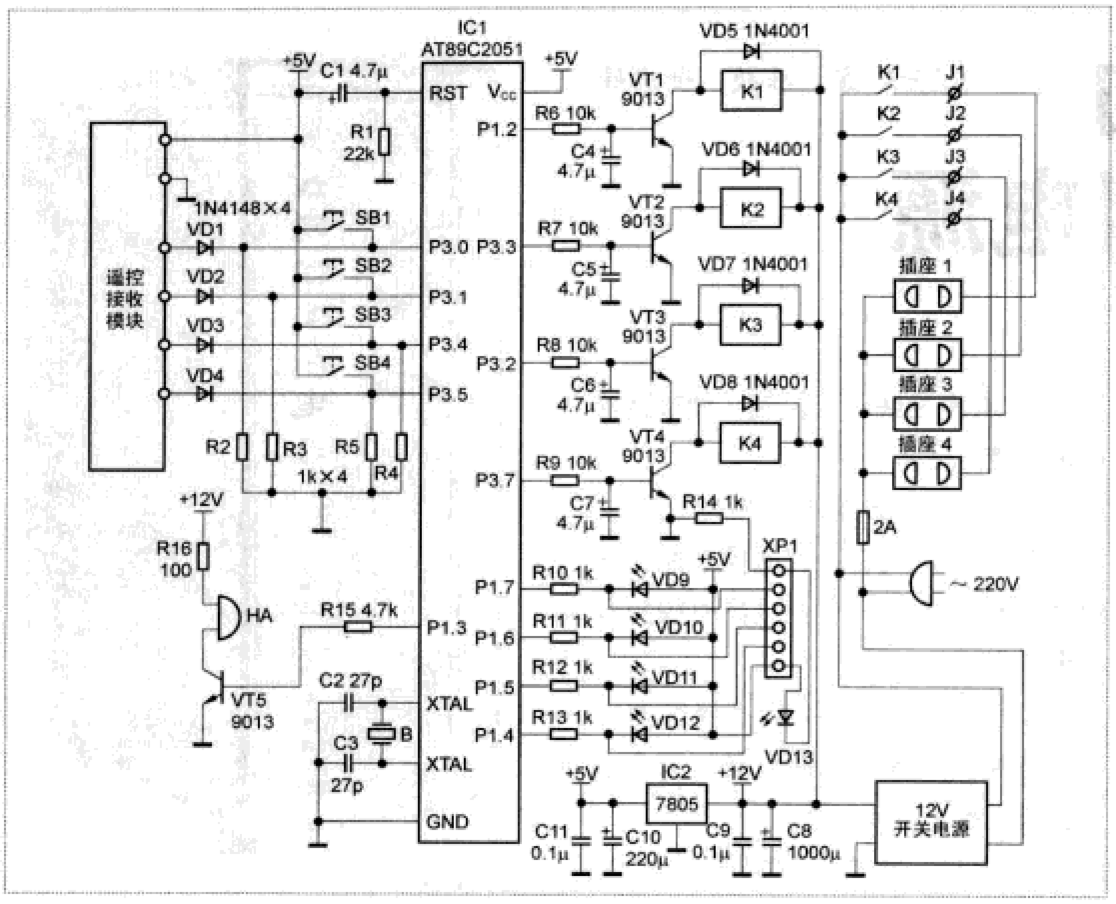


图3 无线遥控多用电源电路图

在P1.2口输出高电位的同时，P1.7口输出低电位，使VD9亮起。同时，从P1.3口输出1000Hz的音频信号，经VT5放大后推动HA蜂鸣器发出“嘟－”声。

为了增加使用效果，区别“A键”的奇数次按下（如1、3、5……）为“开”指令、“A键”的偶数次按下（如2、4、6……）为“关”指令。为此，在声（指蜂鸣器）、光（指发光二极管）的显示上作了明显区分。如：“开”时，发光二极管VD9闪1次、蜂鸣器HA响1声；如“关”时，发光二极管VD9闪2次、HA响2声。

当奇数次按下发射器的“B”键或“C”键或“D”键时，K2或K3或K4吸合，VD10或VD11或VD12闪1次，HA响1声。当偶数次按下发射器的“B”键或“C”键或“D”键时，K2释放、或K3释放、或K4释放，VD10或VD11或VD12闪2次，HA响2声。

电路中还设置了4个轻触按钮，分别是SB1～SB4。它们的作用与A～D键相同，主要是为了便于调试时使用。

“A”键的工作过程如下：

按下“A”→VD1 导通→P3.0→CPU 处理
- → P1.2（VT1 导通、K1 吸合）。
- → P1.7 → VD9 亮。
- → P1.3 → VT5 放大→ HA 发声。

“B”键的工作过程如下：

按下“B”→VD2 导通→P3.1→CPU 处理
- → P3.3（VT2 导通、K2 吸合）。
- → P1.6 → VD10 亮。
- → P1.3 → VT5 放大→ HA 发声。

“C”键的工作过程如下：

按下“C”→VD3 导通→P3.4→CPU 处理
- → P3.2（VT3 导通、K3 吸合）。
- → P1.5 → VD11 亮。
- → P1.3 → VT5 放大→ HA 发声。

“D”键的工作过程如下：

按下“D”→VD4 导通→P3.5→CPU 处理
- → P3.7（VT4 导通、K4 吸合）。
- → P1.4 → VD12 亮。
- → P1.3 → VT5 放大→ HA 发声。

单片机程序的编写与调试

单片机的运行程序是单片机控制电路能否正常工作的关键。

1. 程序流程图

图4为“无线遥控多用电源”的程序流程图。

2. “无线遥控多用电源”单片机程序。

“无线遥控多用电源”的单片机运行程序可到《无线电》杂志网站上下载。该程序是使用PROG-100型编程器编写，使用的是C-BASIC专业编程语言，所以语句表达的含义直观、编写方便。

制作与调试

图5是“无线遥控多用电源”的印制电路板的装配图。装配前，应根据附表中的元器件规格参数要求，对准备焊接的元器件进行测量。在装配时还要注意元器件的安装顺序，即先低后高、先小后大、先元件后器件的安装顺序。

1. 控制电路板的装配

本电路的大部分元器件是安装在一块113mm×75mm的PCB上。图5是印制电路板的安装示意图，其中图5（a）是零件装配示意图，图5（b）是装配图，图5（c）是PCB图。

安装步骤方法：

（1）测量筛选元器件

a. 根据表 1 检查、核对元器件。

b. 测量元器件。

（2）装配 PCB 板

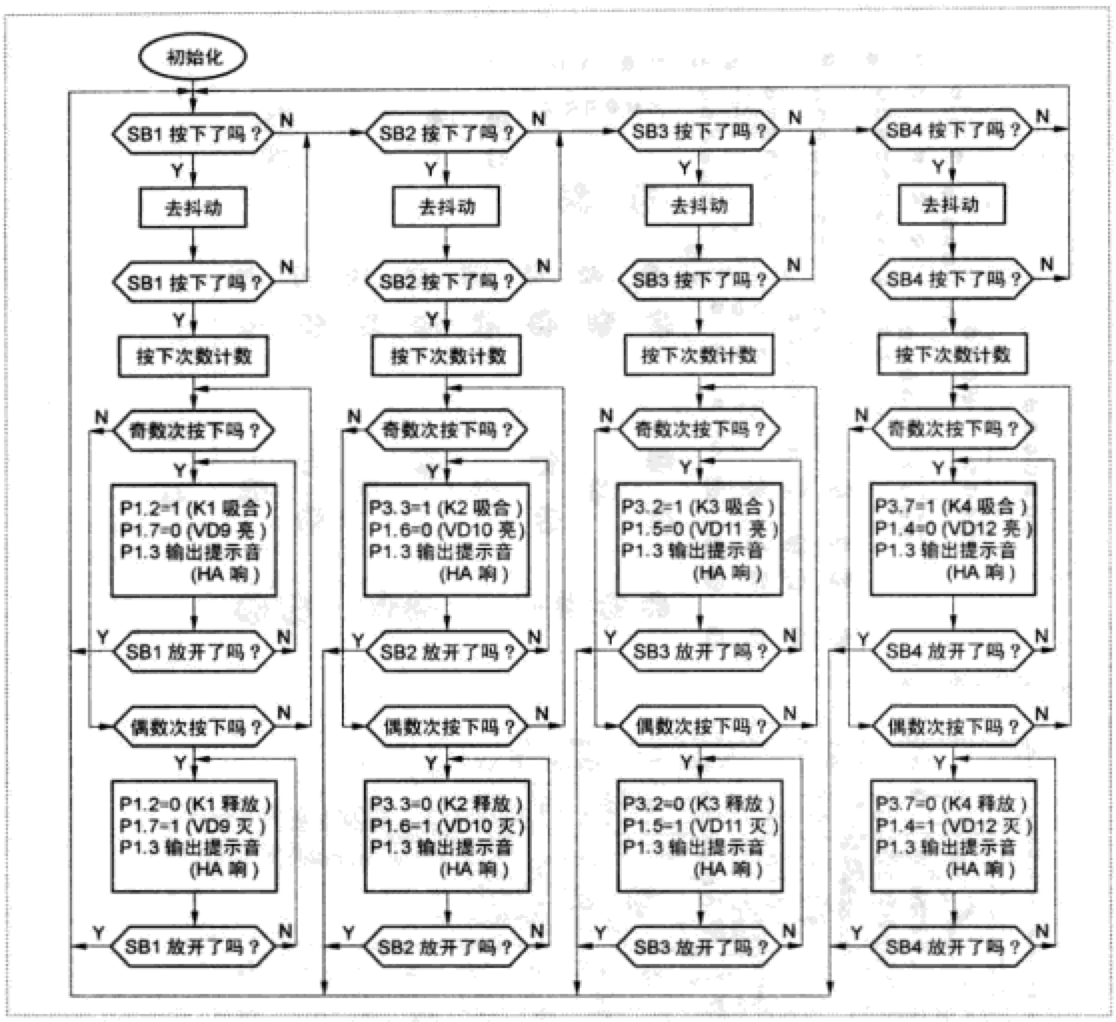


图4 程序流程图

附表　元器件一览表

序号	器件名称	规格型号	数量	元器件标号
1	电阻器	RJ－1/16W－22kΩ	1	R1
2	电阻器	RJ－1/16W－1kΩ	9	R2～R5、R10～R14
3	电阻器	RJ－1/16W－10kΩ	4	R6～R9
4	电阻器	RJ－1/16W－4k7Ω	1	R15
5	电阻器	RJ－1/16W－100Ω	1	R16
6	电容器	CC－27pF / 50V	2	C2、C3
7	电容器	CL－0.1μF/ 50V	2	C9、C11
8	电容器	CD－4.7μF / 25V	5	C1、C4～C7
9	电容器	CD－220μF / 16V	1	C10
10	电容器	CD－1000μF / 16V	1	C8
11	晶体振荡器	24MHz	1	B
12	整流二极管	1N4148	4	VD1～VD4
13	整流二极管	1N4001	4	VD5～VD8
14	发光二极管	φ3－红（4只）、绿（1只）	5	VD9～VD13
15	三极管	CS9013	5	VT1～VT5
16	集成电路	AT89C2051	1	IC1
17	三端稳压电路	LM7805	1	IC2
18	轻触按钮	6mm×6mm×9mm	4	SB1－SB4
19	继电器	CZR－1 / 12V	4	K1～K4
20	接线排	7.62mm脚距	4	J1～J4
21	蜂鸣器	φ13mm	1	HA
22	IC插座	20脚	1	IC1
23	印刷电路板	113mm×75mm	1	专用
24	开关电源	220V : 12V/ 1A	1	
25	交流电源插座	220V / 2A	4	插座1～插座4
26	遥控组件	发射器 接收模块	1	

a. 熟悉电路图和装配图。

b.遵照装配原则：先连接线后连接元器件；先装低的元件后装高的元件；先装小的元件后装大的元件；先装元件后装器件。如继电器、接线排等器件应放在最后进行装配。

c.检查印制电路板的焊接质量，对元器件引脚进行剪脚，并进行修焊和补焊。

2. 控制电路板的调试

电路板调试的目的，是使板上的元器件共同发挥作用，达到电路图原理中所要求的控制效果。

印制电路板装配好后要仔细检查几遍，看有无错误。在电路板装配正确无误的前提下就可以对它进行调试。

笔者使用的12V开关电源是监视器上用的一种电源，最大输出电流为1安培，该电源使用在本电路中具有较大的功率余量，适合连续使用。读者也可以选用其他的12V电源，电流在500mA就可以。使用时将塑料外壳去掉，只需将内部的小电路板焊装在电路板上，并注意正、负极性不能装错。开关电源上有220V电压的接入点，切记要注意安全。

下面详细介绍调试步骤与方法（笔者使用的是47型万用表）：

调试最好采用稳压电源比较安全可靠。等全部调试好后再装上开关电源。

（1）不装IC1（AT89C2051）。将12V直流电源接在C8两端或与其相关的其他点上。测量IC2（7805）的输出电压应为5V。

（2）将万用表拨至直流50mA挡。红棒接＋5V端，黑棒接R6电阻的左端（IC1的P1.2端口），K1继电器应吸合动作；红棒接＋5V端，黑棒接R7电阻的左端（IC1的P3.3端口），K2继电器应吸合动作；红棒接＋5V端，黑棒接R8电阻的左端(IC1的P3.2端口)，

K3 继电器应吸合动作；红棒接＋ 5V 端，黑棒接 R9 电阻的左端（IC1 的 P3.7 端口），K4 继电器应吸合动作。

符合以上调试的，说明VT1～VT4和K1～K4是正常的。

红棒接＋ 5V 端，黑棒接 R15 电阻的右端（IC1 的 P1.3 端口），HA 应发声。

（3）将万用表拨置直流 50mA 挡。黑棒接“地”端，红棒接 R10 电阻的左端（IC1 的 P1.7 端口），发光二极管 VD9 亮起；黑棒接“地”端，红棒接 R11 电阻的左端（IC1 的 P1.6 端口），发光二极管 VD10 亮起；黑棒接“地”端，红棒接 R12 电阻的左端（IC1 的 P1.5 端口），发光二极管 VD11 亮起；黑棒接“地”端，红棒接 R13 电阻的左端（IC1 的 P1.4 端口），发光二极管 VD12 亮起。VD13 是电源指示，安装在外壳的面板上。选用绿色发光二极管，以便与 VD9～VD12 区别。

（4）切断 12V 电源，装上 IC1。接通 12V 电源。按照电路原理，分别按下 SB1～SB4，观察继电器的动作状态应符合电路图原理，如有不对，应对程序进行修改。

调试正常的电路板，就能投入使用了。

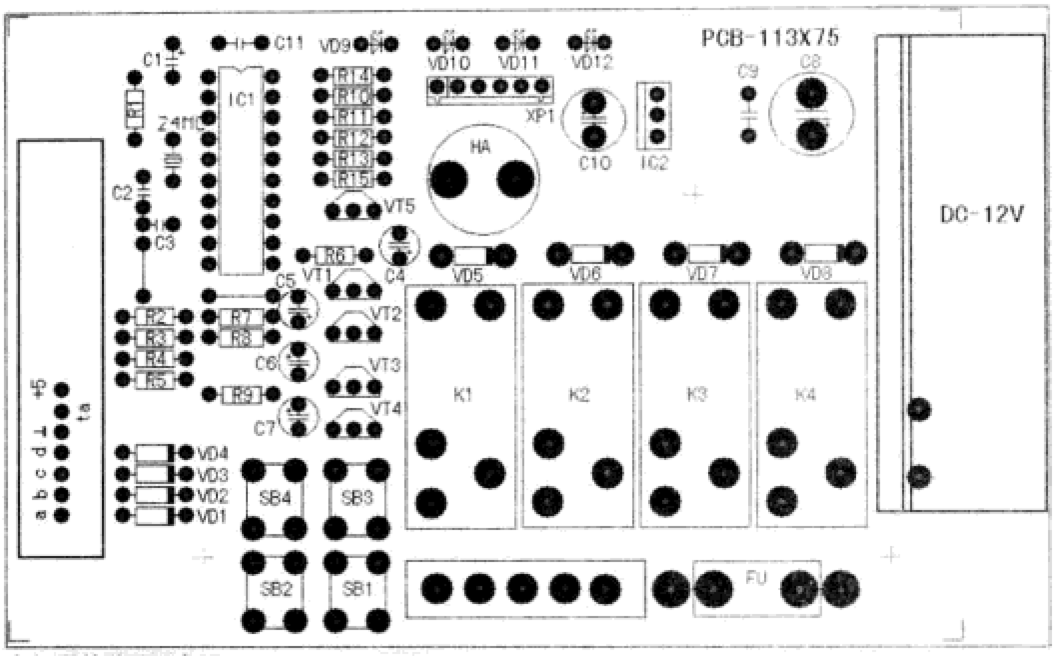
3．功率转换器的制作

功率转换器的电路是一个以小电流换取大电流的设计构思的电路。这个电路的作用相当于一个交流固态继电器，但比固态继电器成本低，而且取材方便制作也简单。功率转换器电路见图6。

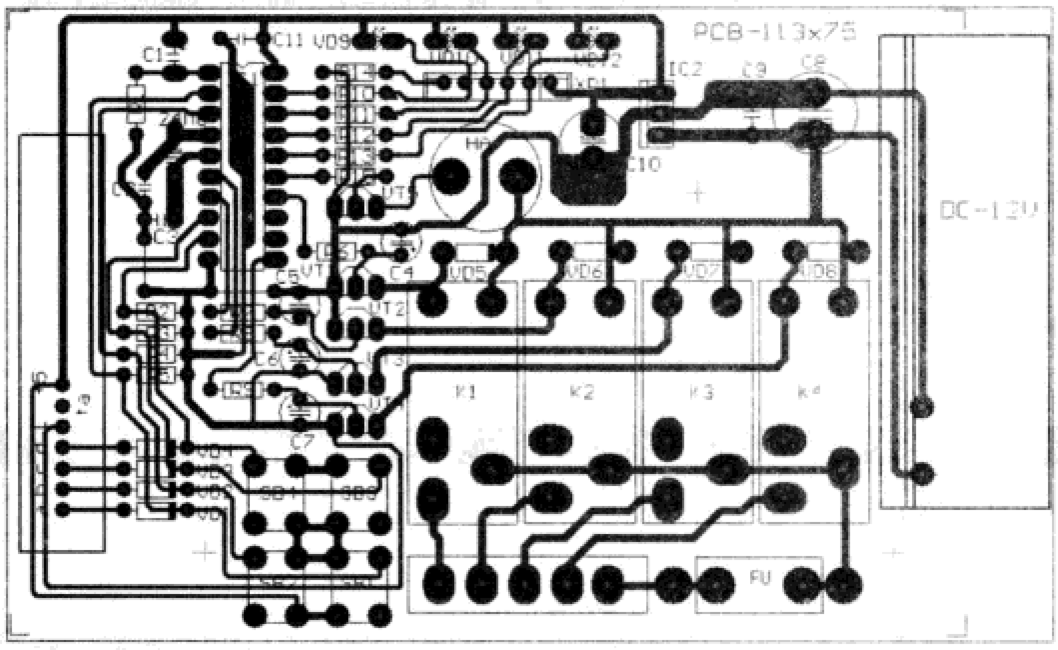
图7是为1.5匹空调使用的功率转换器实物图。功率转换器是利用现成的电源插座盒进行改制的。

由C1、R1、UR1、C2组成一个降压、整流电路，为继电器K1提供工作电流。C1的0.47μF容量可以为K1提供约30mA的工作电流。

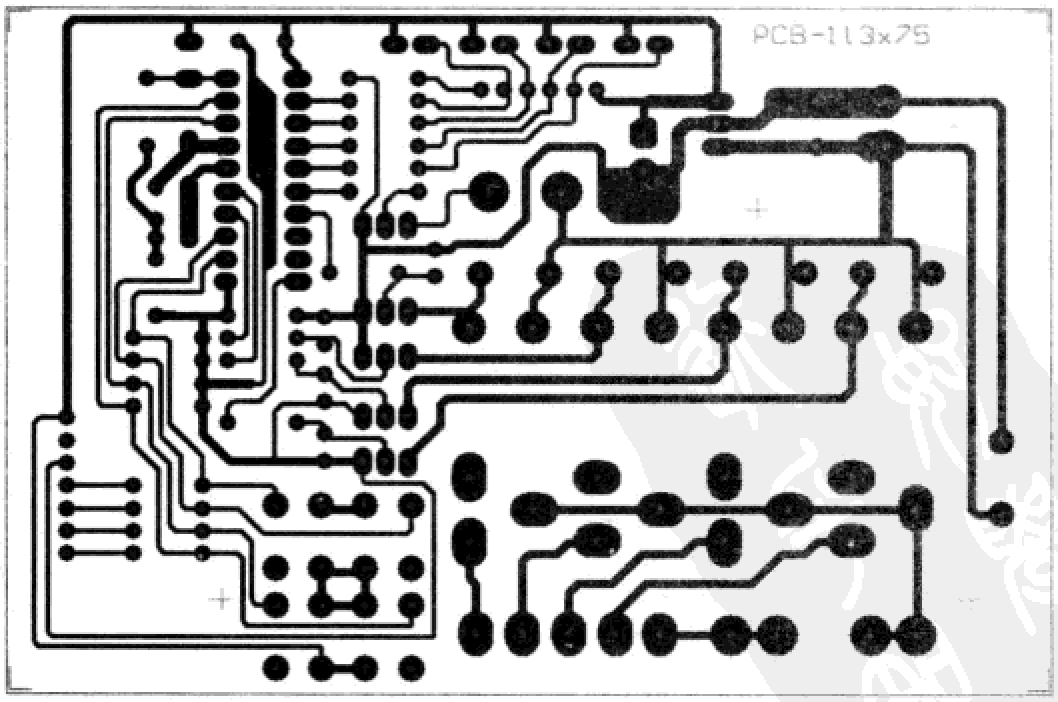
当插座1两端输入220V交流电压



(a) 零件装配示意图



(b) 装配图



(c) PCB图

图5 无线遥控多用电源装配图

能直接推动扬声器的新一代模数转换语音微控制器——HT86AXX

盛群半导体近期推出了HT86AXX AD type 新一代语音微控制器（AD type Voice MCU），成员包括了HT86A36、HT86A72、HT86AR72。语音容量范围为36s与72s，Voice ROM容量分别为96KB与192KB。HT86AR72 为OTP type MCU，可提供产品开发时仿真HT86A36与HT86A72。

HT86Axx系列内含盛群标准的8位控制器，除了搭载高解析的单声道12位DAC、1.0W Power AMP直接推动扬声器外。更内建4通道12位ADC与RTC。HT86AXX系列不但可开发为玩具产品、语音播放器。内建的RTC 唤醒省电功能可应用在低功耗的产品。内建1.0W Power AMP 更可节省外部零件成本。

重点特色

HT86AXX 系列在音质、省电、成本的控制上超越市场上其他同性质的IC，以内建1.0W Power AMP直推扬声器、极少的外部零件、极佳的抗噪声能力与操作温度范围（-40℃～+85℃），凡举健康器材、胎压计、烟感侦测器、玩具、语音拨报器等产品，透过HT86AXX，可以让产品导入语音功能变得更可靠更简单。

产品开发

HT86AXX 系列支持汇编语言与 C 语言，并以盛群微控制器通用的 HT-ICE 做为开发环境，让产品开发更快速容易。

（资料室）

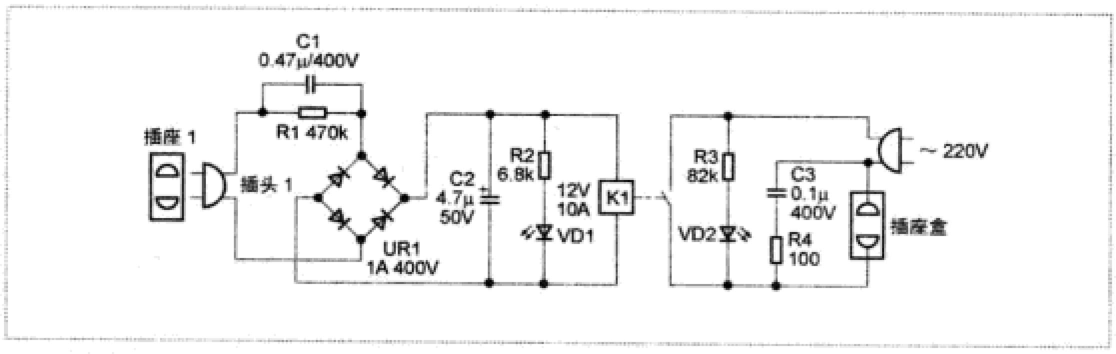


图6 功率转换器电路图

后，通过限流、整流及滤波后将直流电压施加在K1两端，K1得电工作，K1触点闭合，在电源插座一侧上就能得到220V的大电流功率输出。

R3与VD2组成“待机”指示灯。当电源插头插入220V电源插座中，VD2（绿色指示灯）亮起，表示功率转换器已进入待机状态。

R2、VD1组成“工作”指示灯。当遥控接通插座1的电源后，VD1（红色指示灯）同时因K1得电而亮起，以表示：功率转换器工作正常。

C3、R4的作用是可以吸收或减少继电器动作时的电火花现象，有效的保护继电器触点。

制作时，将K1及其他元件安放在插座的侧边位置，以不影响插座的正常安装为前提。然后用绝缘软导线将元器件根据图6原理连接起来。220V电源插头与插座盒之间用10～20cm的双绝缘导线进行连接。功率转换器的插头1为一根长1.5m的电源插头线，与功率转换器（插座盒）内部进行连接，然后引出。使用时，220V电源插头直接插在原来的空调电源插座上，插头1插在“无线遥控多用电源”的4个输出插座的某个插座上，如“插座1”上。由于功率转换器（插座盒）的外部电源输入连线很短，基本上紧靠在原来的电源插座附近，所以比较安全和可靠。而且在插座盒上增加了两个指示灯作为状态指示，所以使用起来非常方便，外形看起来也比较美观。

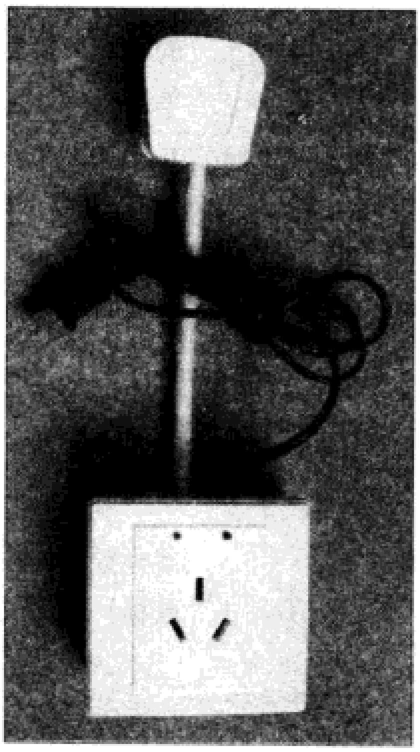


图7 转换器实物图

本作品是一个具有节能显著、使用十分方便的电子装置。成功安装及使用后，一定会给你带来极大的喜悦和实惠。笔者把笔记本、台灯、小风扇和7英寸液晶彩电分别接在4个插座上，使用近一年来十分方便和爽手。

摆脱束缚

让无线走进生活之鼠标篇

◎刘亮

鼠标诞生以来，一直拖着一条长长的“鼠尾巴”，从那时起，人们就期盼着有一天可以使用上无线的键鼠，摆脱“鼠尾巴”的束缚，这一愿望终于在1990年实现了。1991年，世界上第一只无线鼠标MouseMan Cordless诞生，标志着具有划时代意义的无线技术诞生，即radio frequency射频技术（RF技术），从此将键鼠带入了无线时代。图1所示是最早的无线鼠标。

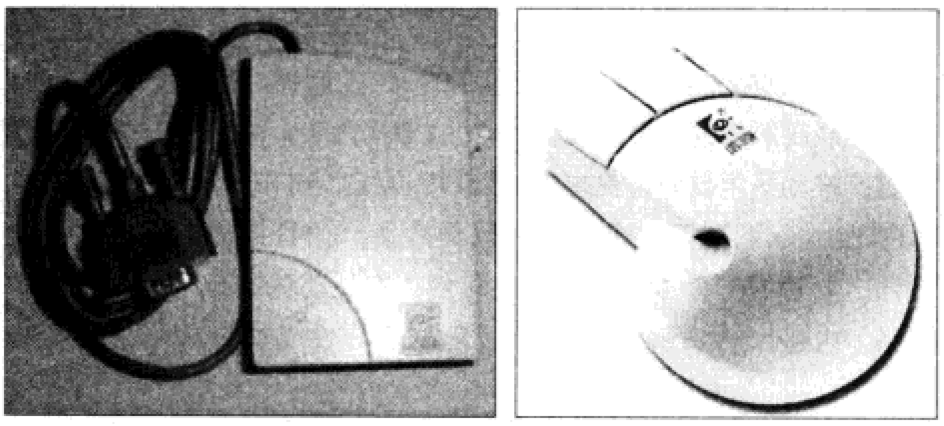


图1 最早的无线鼠标MouseMan Cordless。（编者注：右图由罗技亚太有限公司亚太区总部Cannis Wong提供，在此表示感谢！）

历史的车轮总是向前迈进，我们回顾20年前的无线键鼠或许会觉得很老土，但是没有第一款，又怎么会有第二款、第三款……呢？又有谁能保证10年后我们回顾今天的键鼠时不会笑掉大牙呢？OK，让我们回到现实，成熟2.4G无线技术得以广泛的应用，让我们拥有无线鼠标不再遥不可及，如果你愿意，又有兴趣，也可以制作专属于你自己的无线鼠标。

为了方便读者理解我的意图，我作了一个简单的图来解释，见图2。

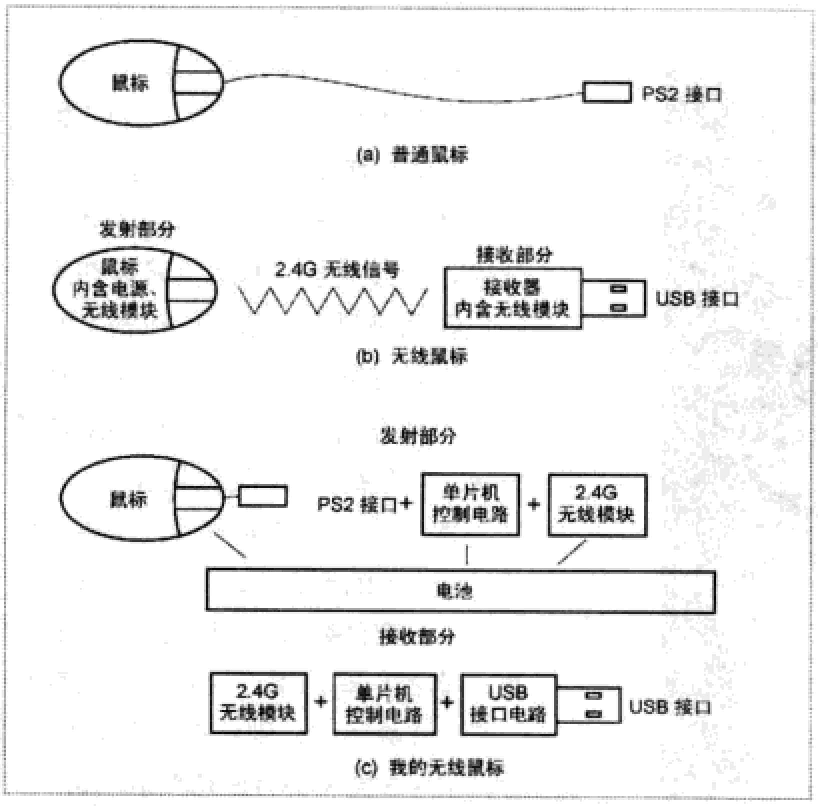


图2 各种鼠标的结构

图2（a）是我们用的普通鼠标；图2（b）是市面上无线鼠标两大件——发射部分和接收部分。图2（c）是在我们常用的鼠标里加上控制电路、无线模块以及电源组成无线鼠标的发射部分，无线模块加上USB部分组成无线鼠标的接收部分。有了这两部分，鼠标就“被无线化”了。

下面介绍一下这款无线鼠标的设计思路和工作原理：

1. 普通的 PS2 鼠标是以数据包的形式发送我们对鼠标的动作，数据包的发送速度并不是很快，因此，我们可以用单片机对鼠标数据包进行截取。

2. BK2411无线模块的速率是2Mbit/s，这个速度传输鼠标的数据包已足够，我们可以把截取到的数据包稍加变换，处理成为USB鼠标格式的数据包，通过无线方式发送出去。这样，接收端可以利用另一个模块接收到数据。

3. 在接收端使用BK2411接收数据前，把设备初始化成电脑可以识别的一个鼠标，发送的数据包来自于接收到的数据包。

用一句话概括，就是：PS2鼠标的数据包被变换为USB鼠标数据包后，通过无线发送给接收端（已经初始化为USB鼠标），接收端将USB鼠标数据发送给电脑。

大家等不及了吧？下面就详细说说改造的过程。

准备元器件

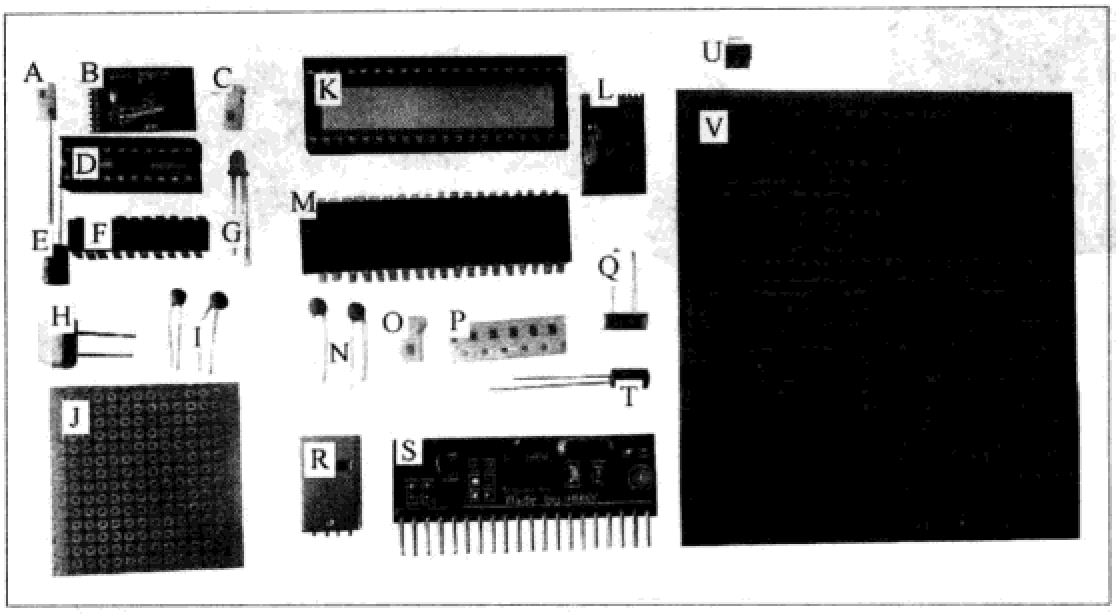


图3 元器件

元器件清单

序号	名称	数量	说明
A	10kΩ贴片电阻	1	与E组成AT89C2051的复位电路
B	BK2411无线模块	1	发射部分的2.4G模块
C	1kΩ贴片电阻	1	LED的限流电阻
D	DIP20脚插座	1	AT89C2051的插座
E	10μF电解电容	1	
F	AT89C2051	1	
G	LED	1	
H	22.1184MHz晶体	1	AT89C2051的晶体
I	30pF瓷片电容	2	AT89C2051的起振电容
J	万用板	1	
K	DIP40插座	1	AT89S52的插座
L	BK2411无线模块	1	接收部分的2.4G模块
M	AT89S52	1	
N	30pF瓷片电容	2	AT89S52的起振电容
O	10kΩ贴片电阻	1	与T组成AT89S52的复位电路
P	220贴片电阻	6	BK2411的IO限流电阻
Q	22.1184MHz晶体	1	AT89S52的晶体
R	USB公头	1	
S	USB小模块	1	提供USB接口
T	10μF电解电容	1	
U	AMS1117 3.3V	1	BK2411的电源芯片，提供3.3V
V	万用板	1	

焊接及安装

1. 发射部分

为了安装到鼠标内部，控制部分的电路必须非常简洁，制作完成后体积应尽量小巧。在此，单片机选用了AT89C2051，选用此单片机的好处在于宽工作电压，在2.7~5.5V的电压范围均可工作，与BK2411无线模块接口甚为方便。

为了尽可能地减小体积，发射部分的电阻都采用贴片封装，可能对一些习惯直插元器件的朋友带来了一定的困难，不过有个简单的方法：就是先在将要焊接贴片电阻的一个焊点加上锡，然后用镊子夹着贴片电阻，同时将刚才点上的焊锡融化，将贴片电阻一端贴着电路板推入融化的焊锡中，控制贴片电阻的另一端落在需要焊接的另一个焊点上即可。假如位置没有对准或者贴片电阻没有贴着电路板出现上翘，则继续加热焊点，快速调整电阻的位置，注意，时间不宜超过3秒钟。待焊锡冷却后，就可以焊接另一个焊点。不熟练的朋友可以静下心来多试几次，熟能生巧嘛。

BK2411无线模块是上海博通的产品，它的特点如下：

采用FSK与GFSK调制方式，1Mbit/s或者2Mbit/s的传输速率；

可编程输出功率：−35dBm，−25dBm，−15dbm，0dBm，5dBm；

6 数据管道，可组成 1:6 星形网络；

供电电压为1.9～3.6V；

4线SPI接口。

根据BK2411的供电特点，可直接使用3.7V的锂电池进行供电。它的引脚排列见图5。

BK2411的焊接也是一个难点。从图上的标注可以看出，两个焊点间距仅为DIP引脚间距的一半，焊接起来要非常小心。推荐使用尖头电烙铁，连接线可以使用单芯塑料皮的细铜线，也可使用稍有硬度的漆包线，使无线模块不至于频繁抖动，够长即可。

可能这个角度看起来大小不好判断，下面来张电路与鼠标的对比图，大小就比较明显了。

控制电路与鼠标的4条连线分别为

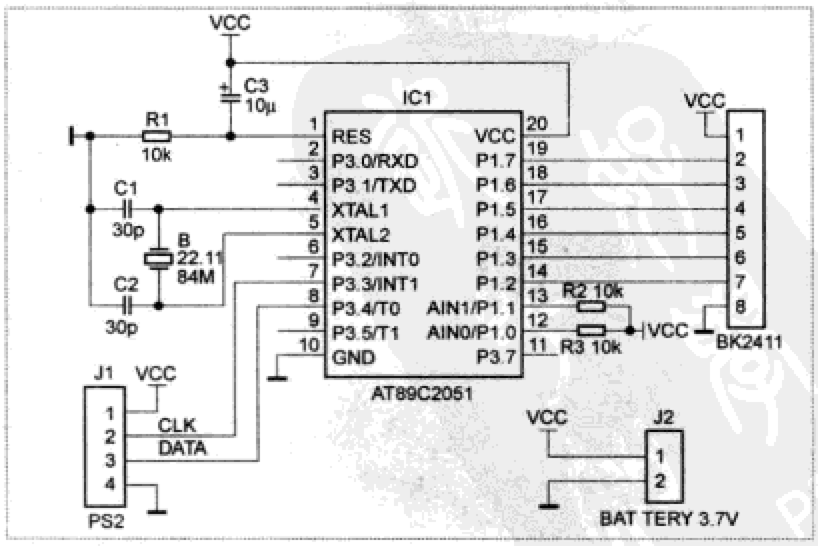


图4 发射部分电路图

PIN Description
PIN1 GND
PIN2 NC
PIN3 IRQ TX active low
PIN4 NC
PIN5 CSN
PIN6 MOSI
PIN7 SCK
PIN8 CE
PIN9 MISO
PIN10 VDD

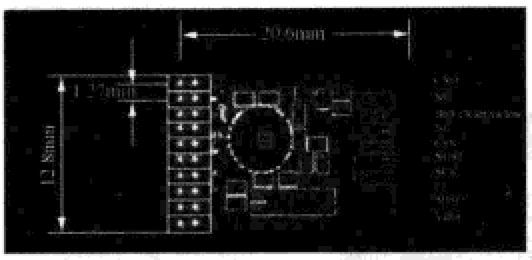


图5 BK2411无线发射模块

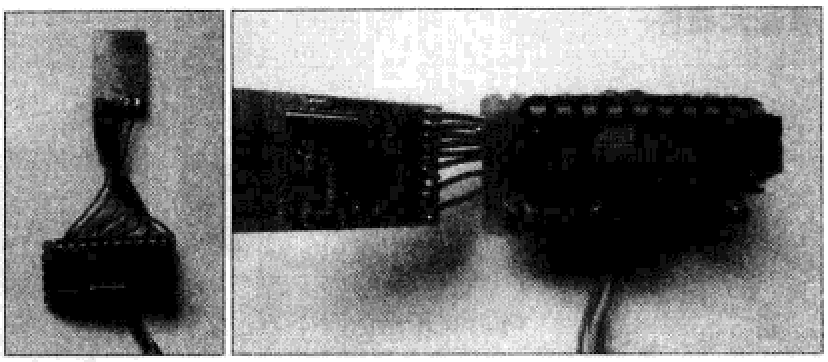


图6 焊接完成后的控制电路

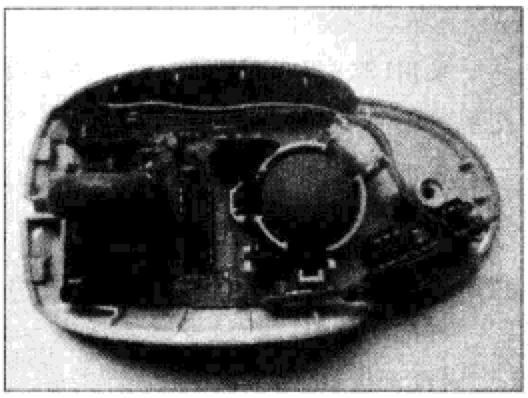


图7 放进去正好

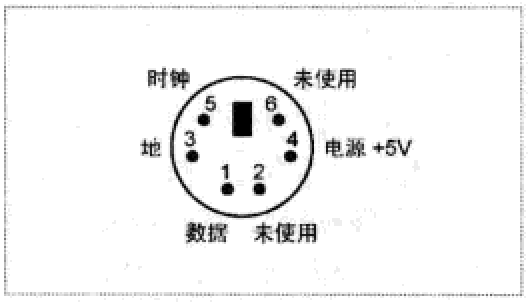


图8 鼠标接口示意图

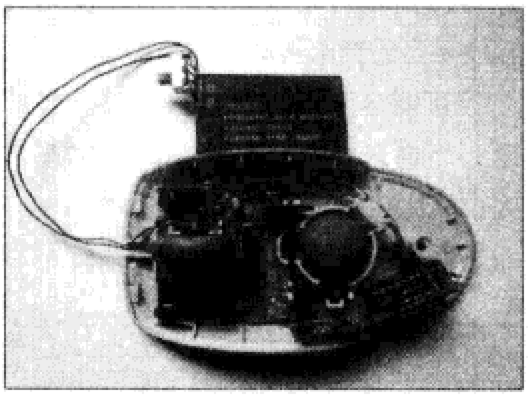


图9 焊接上数据电源线和电池

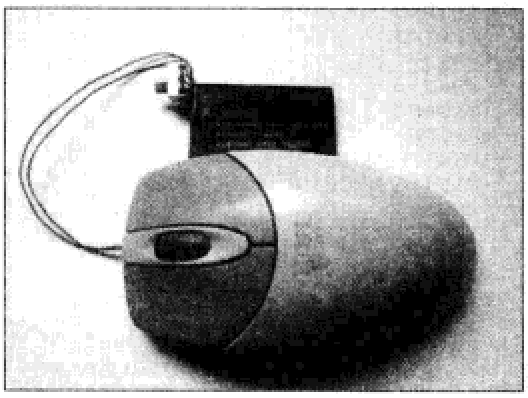


图10 合上鼠标上盖，发射部分就完成了

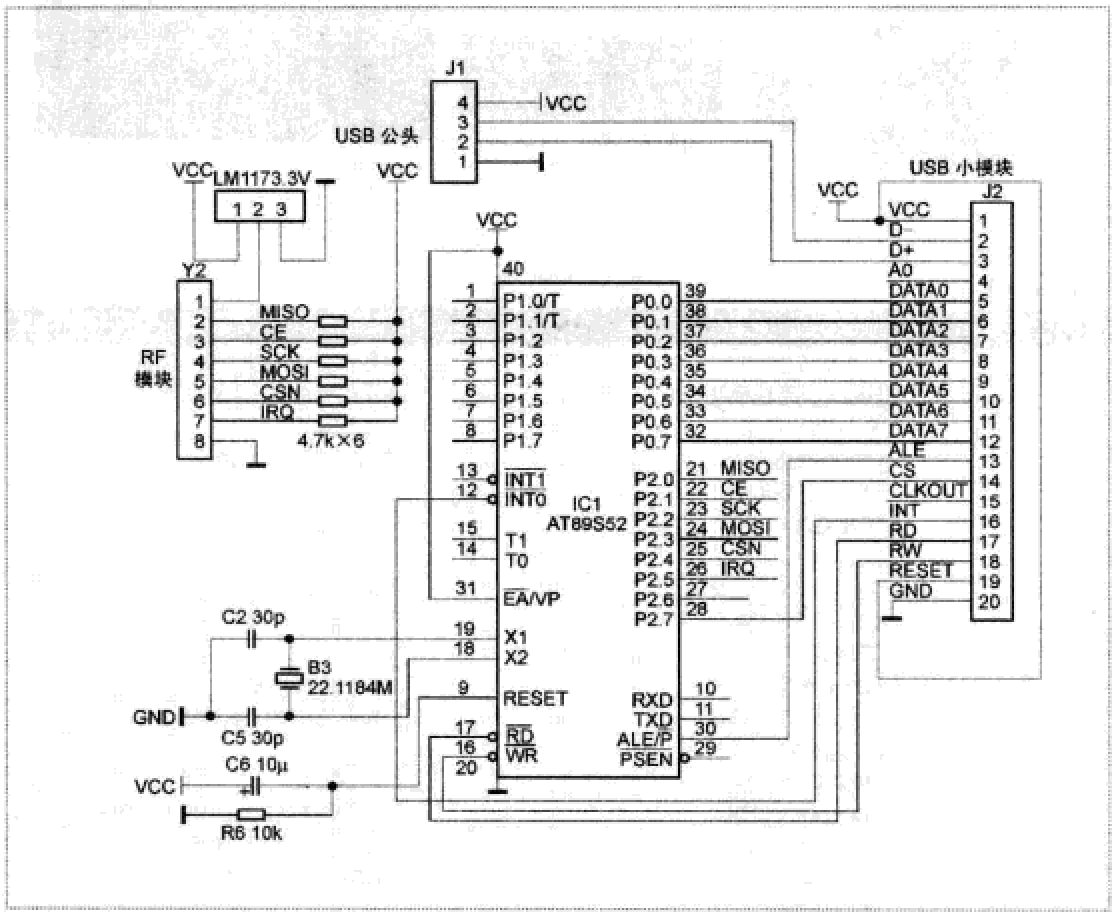


图11 接收部分电路图

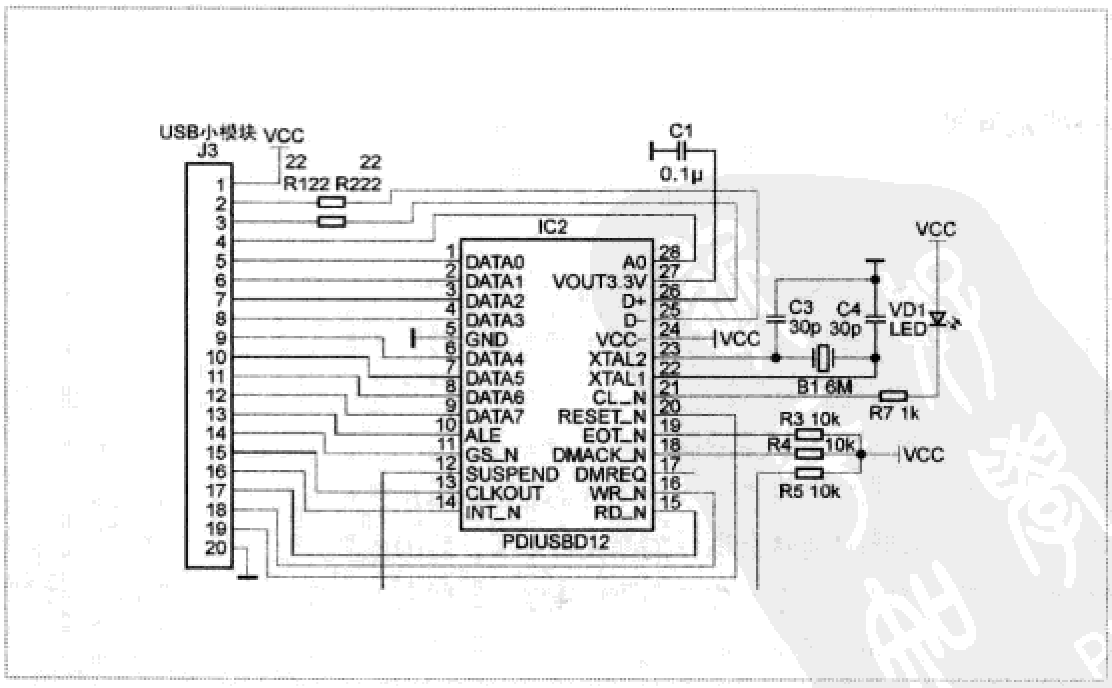


图12 使用的USB小模块电路图

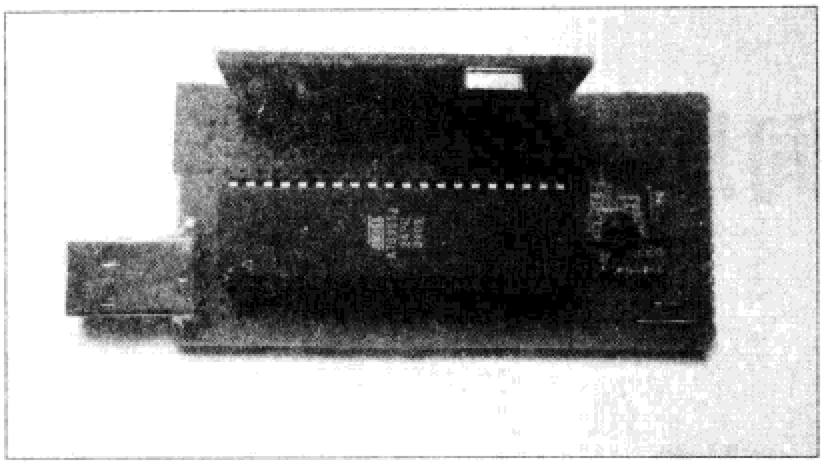


图13 正面照

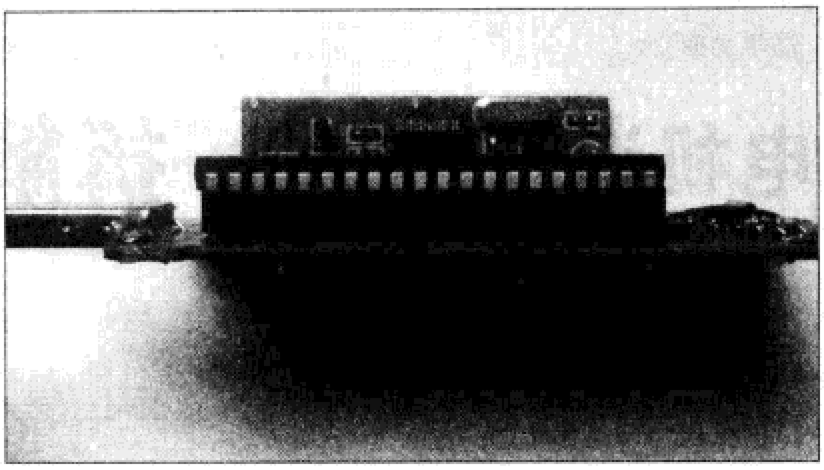


图14 侧面照

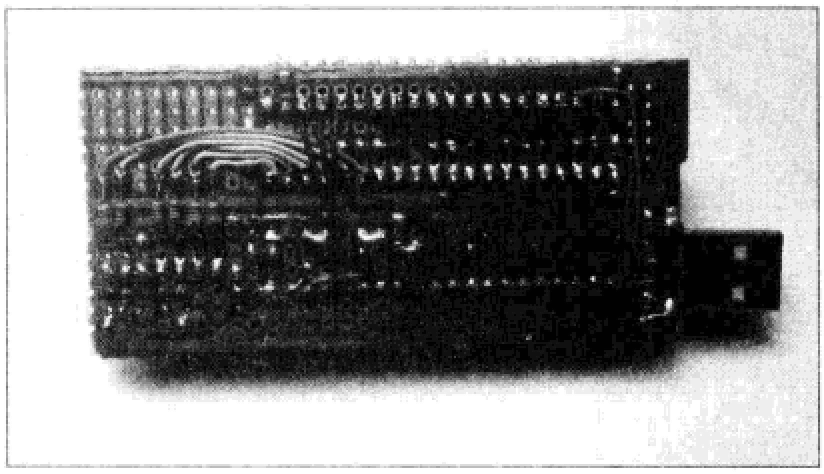


图15 底盘照，用万用板焊接的，自然有不少跳线

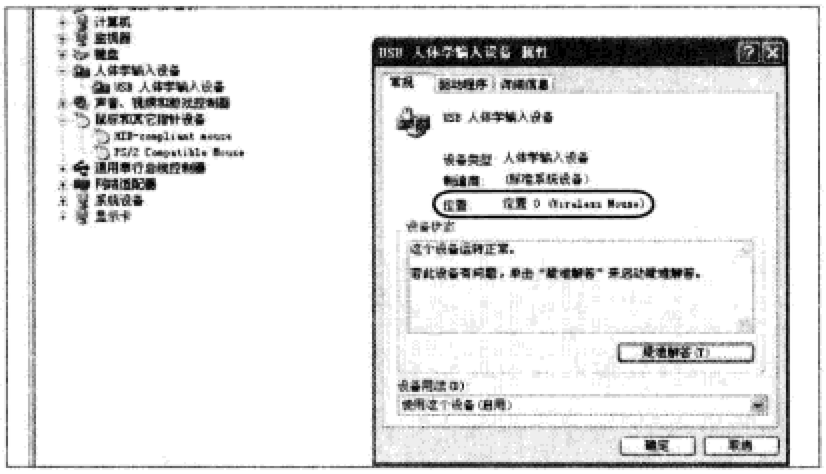


图16 插入接收端后识别出的设备

VCC、DATA、CLK和GND，部分鼠标直接标明了C和D，代表CLK与DATA，见图8。另一部分鼠标则只能使用万用表检测，检测方法如下：

使用万用表通断挡，根据接口示意图检测出4条连线的连接位置。为了方便制作，本发射部分采用手机锂电池供电，当然，可以装入鼠标的小体积电池更佳。记住在电池与电路板间添加一个电源开关，不用时可以关闭鼠标。

2. 接收部分

其中USB小模块电路图见图12。

接收部分比较重要的是USB小模块，该模块使用PDIUSBD12作为核心，其特点如下：

符合 USB 1.1协议规范；

与任何微控制器/微处理器有高速 2MB/s的并行接口；

集成了 320 B的多配置FIFO存储器，主端点有双缓存配置，增加吞吐量，容易实现实时数据传输；

可通过软件控制USB总线连接SoftConnect；

在USB 传输时有闪亮的 USB 连接指示灯GoodLink；

时钟频率输出可编程；

有SO18和TSSOP28封装，双电压工作 (3.3±0.3 V或扩大的 5 V电压范围) 3.6～5.5 V；

多中断模式，方便块传输和同步传输。

由于是洞洞板焊接的，焊接过程就不进行详细描述，只要按照电路图焊接无误，即可正常工作。

由于是万用板焊的，体积自然是大了不少，不过终于可以擦擦汗，宣布大功告成了一半。

调试

首先调试发射部分。细心的读者会发现，在发射部分的电路板上有个LED，这个LED是干什么用的呢？其实这个LED是用来指示控制部分的工作情况。读者可以按以下思路寻找问题：合上电池开关后，如果LED不亮，说明鼠标初始化未成功，需要检查鼠标与控制部分的数据线；如果LED亮后不随鼠标动作而闪动，说明鼠标数据读取不正常或者无线模块工作不正常，需要检查无线模块与控制部分的数据线。

然后调试接收部分。正常情况下，电脑插入接收器后，可在设备管理器中查看到，如图16所示(注意圈起来的部分)。

如果两者均正常，不妨动一动你的鼠标，你会惊喜地发现，鼠标被“无线”了。

注意事项

由于电池部分的设计还存在不足，因此对电池充电时应格外小心。充电时可使用USB供电，但必须断开电池开关，否则容易损坏无线模块。

◎李文卿

电机进阶3——拆解伺服电机

伺服电机大家见到的可能不是太多，它主要的特点是灵敏度高、反应快速、准确，它作为特种电机在生产生活中也有广泛的应用。伺服电机可以分为交流伺服电机和直流伺服电机，交流伺服电机一般是工业上使用的大型伺服电机，直流伺服电机一般是小型伺服电机，图1就是一个小型直流伺服电机，也叫伺服器或者舵机。这种装置主要用于玩具和自动化设备中，如机器人关节、航模锁尾、智能车等。

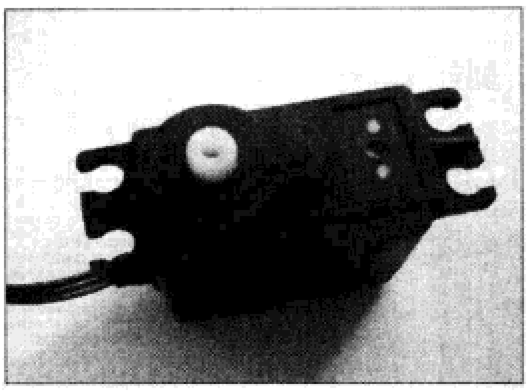


图1 小型直流伺服电机

伺服电机的工作原理

伺服电机（以下称舵机）原理要比步进电机好理解得多，下面我就向你展示一个舵机的解剖全过程，为了这一组图片我可是拆了一个几十块钱的舵机。不管写得好不好，单是这种精神，也值得鼓掌，嘿嘿。

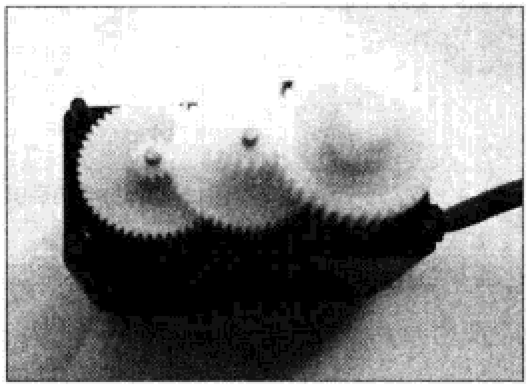


图2 伺服电机内部的变速齿轮组

舵机的后面都有4个长螺钉，松开螺钉从正面拆开后可以看到一套变速齿轮组，如图2所示。背面拆开后可以看到有一个小电机和一个电路板，如图3所示。小电机为舵机工作提供动力，通过图2中的齿轮组由高速变为低速，这就是为什么舵机转动时能产生很大的力量。那个小电路板上采用专用的集成电路，是一个集控制和驱动于一体的控制电路。

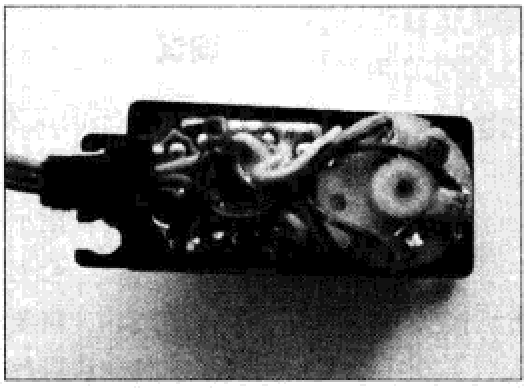


图3 伺服电机内部的电机和电路板

看到这里大家可能就知道了，原来舵机调整角度的过程就是驱动电机正、反转，然后通过变速箱输出到主轴转动。可是舵机输出的是角度而不是转速和方向，这又是如何实现的呢？那就跟我继续拆吧。拿出控制电路板之后就看见如图4所示的画面，里面有一个圆形的槽，边上还有3个接线端子。这里放了1个电位器，电位器的可动部分和舵机输出主轴连在一起，电机一转动电位器转子就跟着转动。在电位器两端加上5V电压，电机转动时中线输出电压就会发生变化，而且电压值的大小对应着输出主轴的角度位置。控制电路通过检测反馈回来的电压信号控制驱动电路，形成闭环控制系统，舵机就是这样快速而准确地转过一定的偏角。

图4 伺服电机内部的电位器

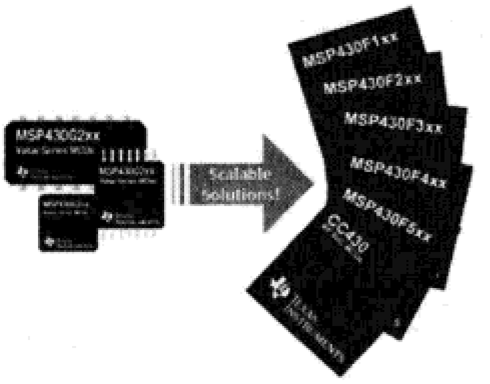
伺服电机的控制

舵机控制比较简单，红，蓝，黑三根线，分别对应的是VCC、GND、信号线。控制舵机时在信号线上输入周期为20ms，脉宽为1.5～2ms的方波信号，具体的动作时序如图5所示。使用的时候是把信号线接到MCU的PWM接口上，MCU产生PWM信号直接控制舵机。

舵机里面有一个小直流电机，不加负载或是小负载情况下只有零点几安的电流，但在大负载突然动作时的电流有1A多，因此在电路设计的时候也要考虑到舵机电源的稳定性问题。JR系列的舵机都是以4.8V为电源电压，Futaba系列则是以6.0V作为电源电压。智能车中使用的都是Futaba系列的舵机，如图6所示。6.0V的供电如何解决呢？首先可能会想到用集成稳压电路7806稳压后输出6.0V电压供电。这个方案在航模、机器人或是其他玩具中可以，但是在智能车中不行，因为智能车车模中提供的电池的正常工作电

德州仪器推出全新 MSP430™ MCU Value Line系列微控制器

德州仪器 (TI) 宣布推出 MSP430 微处理器 (MCU) Value Line，能以 8 位 MCU 的超低价格实现 16 位 MCU 的出色性能以及业界领先的超低功耗，可充分满足 8 位产品市场不断提高的性能和效率要求。起价仅25美分的Value Line可确保8位产品的开发人员不再因价格问题而降低性能、电源效率或可扩展性。根据产品发展规划，TI将在今后 15 个月内推出超过 100 种 MCU，为开发人员提供可满足其存储器、外设以及封装配置等各种需求的广泛产品系列。



全新的MSP430G2xx器件可跨越整个MSP430 MCU 平台实现代码兼容，不仅能轻松地实现代码升级，同时还可根据应用要求的变化相应升级至较高端的器件，充分满足安防、安全以及触摸传感等应用领域的需求。

Value Line的主要特性

性能提升 10 倍，其中包括支持真正的 16 MIPS 运算、代码密度提高 50%，而且能以 8 位 MCU 解决方案的低成本为各种功能预留更大的性能提升空间；

具备 5 种电源模式，仅为 0.4 μA的超低待机功耗以及不足 1 μs的唤醒时间，电池使用寿命比8 位解决方案显著延长 10 倍之多；

诸如 10 位 ADC、UART、比较器与串行通信等集成型智能外设可将CPU 解放出来，全面提高电源效率；

首批立即上市且可接受订购的27款MSP430G2xx器件，可提供高达2KB的闪存和128B RAM，今后推出的器件还将支持 16KB 的闪存和 512B 的 RAM。

（资料室）

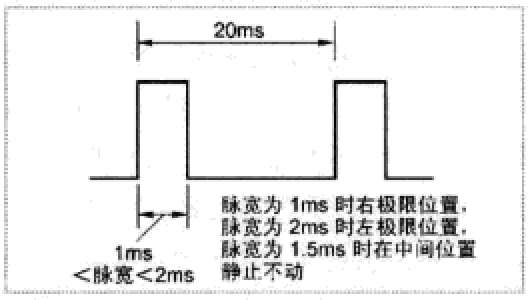


图5

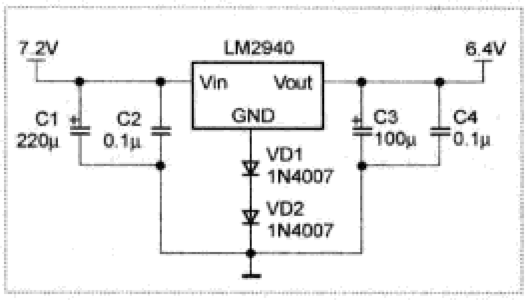


图7

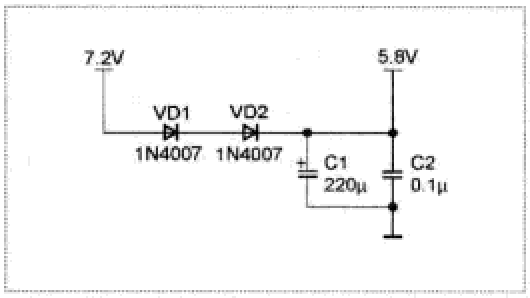


图8

压是7.2V，而78系列稳压集成电路要求输入电压至少比输出电压高2V，实际条件不满足设计要求。这里提供两种舵机电源方案，第一种是利用稳压集成电路LM2940搭建，如图7所示，第二种是直接用2个1N4007串联分压，如图8所示。2940只需要0.5V的压差就能发挥稳压作用，输出5V电压，工作电流也能达到1A，各方面性能比7805都优越，不过价格也是7805的好几倍。硅二极管的导通压降是0.7V，两个1N4007串起来后接到2940的电压参考端后，2940的参考端电压被抬高到1.4V。参考端电压发生变化，输出端电

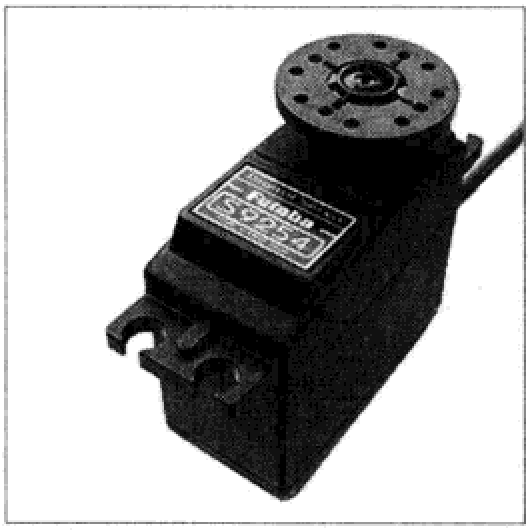
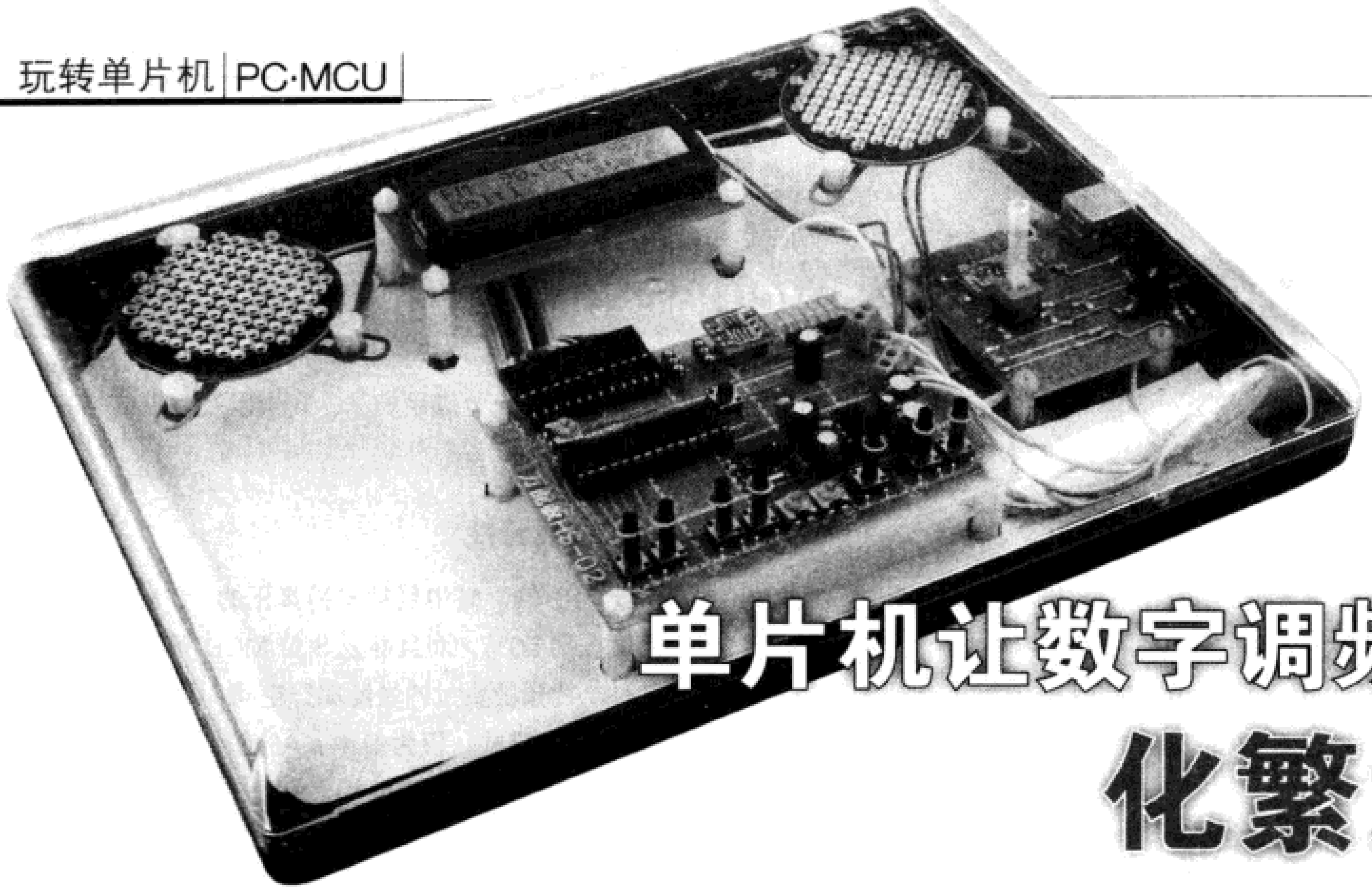


图6 Futaba系列舵机

压就等于5V+1.4V。第二种方案同样是利用二极管产生导通压降的原理，7.2V的电源经过两个4007降压后输出5.8V的电压。虽然这种方案简单廉价，但是电池提供的电压不一定就是7.2V，刚充满的电池电压比较高，用过一段时间后会降一些，所以如果使用图8所示的第二种方案的话就会有电压波动，它只是一个降压电路而不是一个稳压电路。

舵机的操作比较简单，接上电源以后只需要占用单片机的一个PWM口和一个定时器。调出周期为20ms的PWM波，高电平在1.0~2.0ms之间，舵机就能随你控制了。在这里就不举例子了。



◎卫小鲁

单片机让数字调频收音化繁为简

多年前，装制收音机可说是国内业余无线电爱好者的必修课，翻开20世纪五六十年代的《无线电》杂志，各种各样的自制收音机，从最简单的矿石机到用十几个电子管的高级收扩机，期期都有，真可谓琳琅满目。实际上在那个物资相对匮乏的年代，要想装好一台收音机也并不容易，东拼西凑的元件，差强人意的工具，简陋至极的仪表，使得安装收音机的效果很大程度上依赖于因人而异的“经验”。然而时过境迁，科技发展的突飞猛进，使得今天人们已经可以拥有更多的电子爱好，作为与RADIO同义词的收音机制作，也逐渐淡出人们的视野了。虽然现在条件好了：工具不用说，只要你愿意，什么高级仪表私人也能装备，但是传统的收音机元件却已经远不如从前那样容易随意找到了，那么今天我们还能装什么样的收音机呢？除了初学者的“套件”以外，我们还可以来个“与时俱进”，安装近年来日益普及的数字收音机！现在的数字收音机已经把调频接收这样复杂的功能集成到一个绿豆大的硅片中，而且几乎没有外部可调元件！这意味着在家里也可以打造出“工厂水平”的收音机！**这样的收音机已经不再用常规的可变元件来控制，而必须和单片机结合起来，用后者来控制其参数进行选台和调节音量，与其说是装收音机倒不如说是装单片机。**常规仪表（如信号发生器—）在这里不是必需的，但电脑和编程却是不可缺少的，更有甚者，现在已经出现了一些把单片机整合进去的芯片，这样就不再需要另配单片机，谁都能轻而易举地安装这种只用几个按钮就可以控制的收音机。图1所示为几个从淘宝网上买到的数字调频收音机模块和芯片，左边是很有名的飞利浦TEA5767（用它制作的收音机曾在本刊2008年第6期和2009年第7期刊载）。中间是这次使用的收音模块

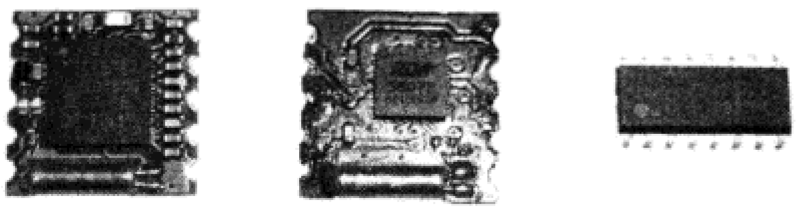


图1 常见的调频收音机模块和芯片

RDA5807，我们用它来打造一个功能比较齐全的收音机。右面是另一款收音整合芯片GS1299，可以用它做一个小小数字收音机。当然在此领域，还有硅实验室SILICON LABS这个公司，它开发有整系列的数字收音芯片，从调频（SI4730）到全波段（SI4735）都有，不过后者目前还不容易买到。

这些数字收音机芯片并不是把传统的超外差电路简单地压缩到集成电路中，而是采用了另外的技术，其特点是：完全没有可调元件，彻底免除了调整的麻烦（扭调节螺丝的乐趣也没了），调频接收灵敏度高：（$S+N$）/N=26dB时灵敏

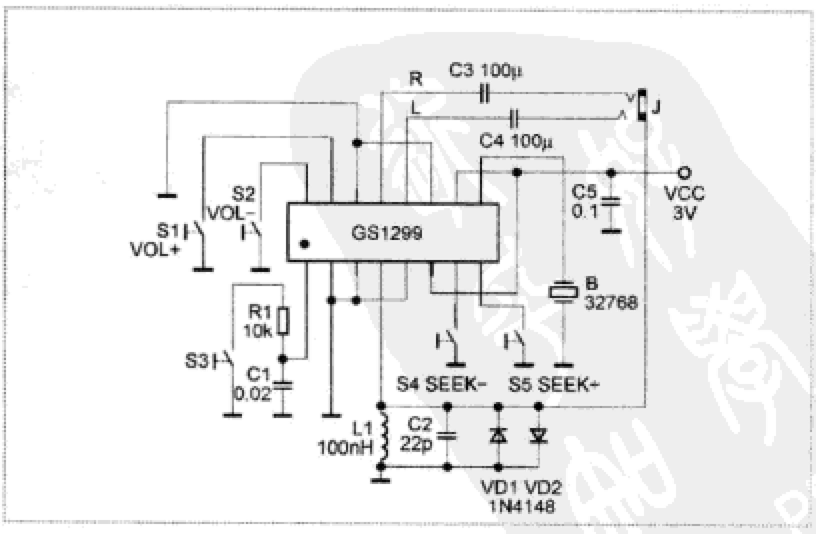


图2

度均在1.5~3.5μV，可在3V低电压下工作，而且除了较早的TEA5767外，大都具有电子音量控制，RDA5807和GS1922还带有末端耳机功放，输出可以直接推动32Ω耳机，用起来十分方便。下面就看看怎么制作这两种数控收音机：

极易制作的数字调频收音机

采用前述 GS1299 集成芯片的电路见图 2。可见外围元件不多，仅仅 5 个轻触按钮：S1 音量加，S2 音量减；S3 开关，可以使芯片工作或休眠；S4 向下搜索；S5 向上搜索。用 3V 电源。注意耳机插口 J 的公共线不是直接接地，而是接到 GS1299 的 4 脚（信号输入），再经过小电感 L1 接地，这个电感对于音频相当于短路，对于高频则呈高阻抗，这样使得耳机线上感应的调频信号直接加到芯片信号输入，耳机线起到了天线作用不需要单独的拉杆天线。晶振电路采用电子钟常用的 32768Hz 晶体，要求精确度高的。电源可以直接用 3V 电池也可以用 5V 降压到 3V 使用，图 3 是一个制作实例，因为 GS1299 是适于表面贴装的 SOP16 封装，所以做了一小条电路板以便焊接。电源使用电脑的 USB 电源，因为收音芯片的工作电压是 1.8 ~ 3.6V，所以这里使用了一个低压差稳压器（LDO）SP6201 得到 3V 电压（如果使用 3V 电池就不需要它了）。使用很简单：直接把它插到电脑面板上的 USB 插座取电，按下 S3，芯片被唤醒，用 S4 和 S5 来回搜索电台，收到后用 S1 和 S2 调节音量大小，要关机就再按一下 S3。容易吧？可是它的最大缺点是“包裹得太严实”：无法获取接收的有关信息，相当于闭着眼睛听，至于所收到的是什么频率，是否立体声等就无从知晓了。

功能比较齐全的数控调频收音机

这种收音机需要用单片机来操控收音机芯片，一方面设置其参数，以实现所需性能，另一方面读出其有关数据，得到芯片的当前工作状态，这样就需要在单片机和收音芯片之间建立通信，而最简单可靠的就是I^{2}C总线，这是利用一根数据线和一根同步线，以交互问答的方式完成数据的双向传递的技术，以上几种收音模块都具有这个通信功能（具体要求有所差别）。

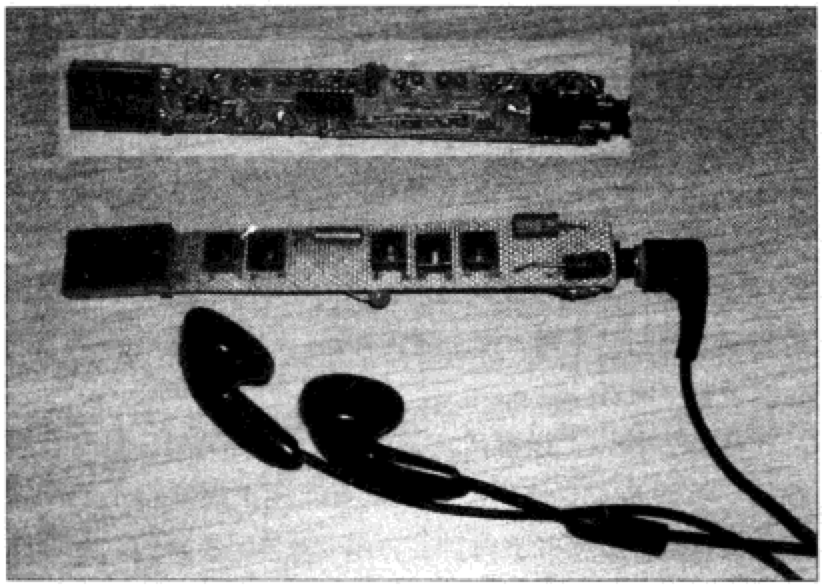


图3 用GS1299做的收音机

下面介绍这个自制的数字调频收音机的主要特点：

●使用RDA5807收音模块，它具有灵敏度高（1.5~2μV）、可以用耳机线做天线、自带16级电子音量控制和耳机输出级的特点，使用方便，价格低廉（淘宝网不到5元）。

●主控使用单片机ATMega8L，它体积小、接口多、速度快（默认的1MHz内部时钟比外加12MHz晶体的51快得多），不必用汇编来提高运行速度，用C编程即可。具有硬件I^{2}C接口TWI，只要设置好有关的寄存器就可以进行I^{2}C通信而无需软件模拟，方便又可靠。具有512B的EEPROM，可以用它保存频道数据，不怕掉电，无需另配24Cxx等外部EEPROM。带后缀L的芯片可以在低电压下工作，目前也可用ATMega48、88等新型芯片。

●使用3.7V聚合物锂电池做电源，从电脑USB接口取电对电池充电，耐用、简单可靠。

●虽然RDA5907已经具有耳机输出，但功率较小，为此增加了一片常用的廉价TDA2822M低电压功率放大IC，以推动扬声器。

●使用3.3V的LCD1602模块作为显示器，可以显示接收频率、工作状态（点频或搜索）、音量大小、是否真台、是否立体声等各项信息。

电路原理

电路见图4，其中ATMega8L的PC4、PC5是TWI口，和RDA5807的SDA和SCL对应连接实现I^{2}C通信，次序一定不能错，I^{2}C一般都需要外接上拉电阻，但是5807内部已经装上了两个电阻，就不用再加了。PC0、PC1、PC2为液晶控制线，PD0～PD3为液晶数据线，因为用的是4线制，所以接到LCD1602的数据线高4位（D4～D7）。PB0～PB6接上7个轻触按钮S1～S7，其功能分别是：S1存储，存储当前的接收频道；S2点频调谐+，从87～108MHz按每步0.1MHz逐点调谐，S3点频调谐-，同上作反向调谐，S4循环搜索：从当前频率向上搜索电台，搜到停下，到达最高值108MHz时继续返回最低点87MHz再往上搜台，S5回放：调谐到已经存储的频道，S6音量-，S7音量+，共16级可调。

收音模块RDA5807有10个引出焊点，只用其中的7个。如前述，天线端ANT也是通过小电感接地，以便利用耳机线做天线。左右声道输出L和R经过可调电阻VR2、VR3分压降

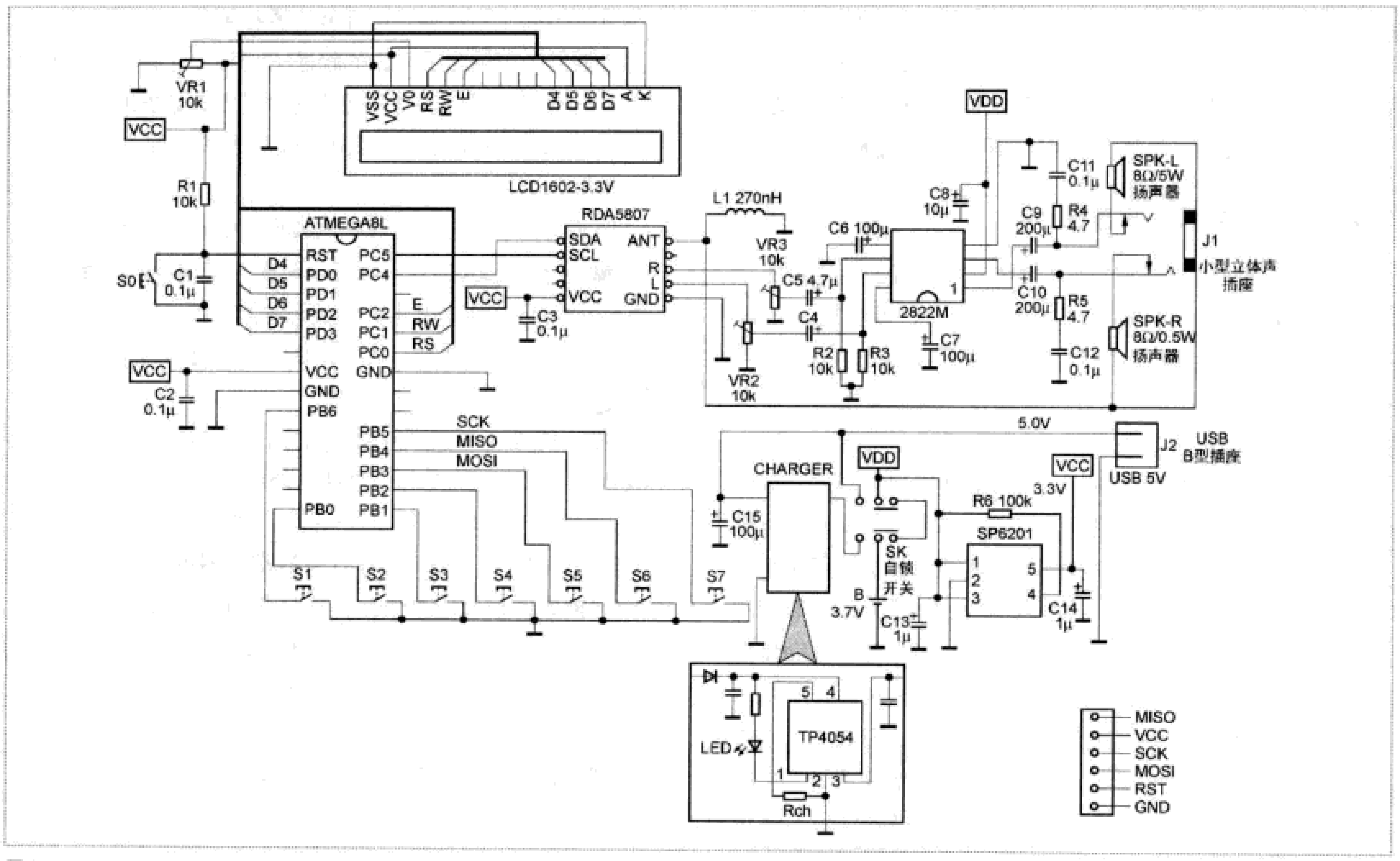


图4

附表

位	15	14	13	12	11	10	9	8
功能	-	音频出	静音	立体声	重低音	保留	上搜	搜索
设定	0	1	1	1	1	0	1	0

7	6	5	4	3	2	1	0
环搜	时钟	时钟	时钟	-	-	软复位	使能
0	0	0	0	0	0	0	1

幅后经C4、C5加到功放集成电路TDA2822左右输入，放大后输出到立体声插孔J1，如果插入耳机就断开扬声器。为了在没有耳机也可靠收到广播，扬声器的公共线要留长些。

电源部分见图4中右下角。这里通过一个USB的设备插座（方形的是B型插座，在电脑上扁形的是A型插座）用USB电缆从电脑取得稳定的5V电压。CHARGER是锂电池线性充电模块，内部电路如图4下面方框中所示，其中有线性充电电路TP4054，它能根据电池状态进行分阶段充电，充电中模块上的LED发光，充满后自动转为涓流充电，LED熄灭，充电电流可以更换Rch调整。2位自锁开关SK按下是图中状态，整机全部由3.7V锂电池供电，锂电池输出一路直接加到2822的电源端，另一路加到低压差稳压电路（LDO）SP6201-3.3的输入端，输出的3.3V电压就是VCC供给单片机、收音模块和液晶，因为SP6201允许输入、输出最低压差是0.17V，所以在锂电池的大部分放电时间都可以起作用。如果插上USB电缆并使自锁开关抬起，锂电池就和负载断开而接到充电模块进行充电，同时整机电源也由USB供电（也通过稳压）。总的来说硬件电路比较简单，充电模块和LDO都能在淘宝网上买到，也不贵。聚合物锂电池是1块3.7V 700mAh的，带有保护板以避免过充电和过放电。

收音模块的控制

由图4电路图可知，人的操作通过单片机控制收音模块工作，有关信息由模块返回单片机在液晶上显示出来。具体怎样控制RDA5807呢？根据资料，RDA5807可以完全兼容TEA5767，用同样方法编程，这个按下不表。另外还可以采用5807模式编程，这时内部有6个16位寄存器，其中地址为0X02、0X03、0X04、0X05的4个起控制作用，地址0X0A、0X0B两个包含的数据反映当前模块的状态，所以**对收音模块的控制最终归结于写、读上述寄存器。**对写入寄存器0X02的主要设置见附表。

例如，按以上设置用16进制表示为0X7A01，是有音频输出、不静音、立体声、开重低音、向上搜索、不启动搜索、按循环搜索模式、时钟32768Hz晶体、不复位、允许操作。如果把第8位置1，则开始从当前频率向上搜索，有台停

下，超过最高频率再循环至低端继续向上搜索。

寄存器0X03是关于频率设置的，第15位到第6位是频道设置，和第3、2位结合确定调谐频率。第5位保留为0，第4位置1就启动调谐到指定频率。第3、2位是频道选择：00为87～108MHz，10为76～108MHz；第1、0位是调谐步长，00为100kHz。上面的频道设置实际上是频道编号，例如在87～108频道，若频道编号2：当调谐步长为0.1MHz时则第2频道的实际频率是87+2×0.1=87.2MHz，最高频率108对应频道是（108－87）×10=210。

寄存器0X04仅仅把第6位置1：允许I^2C工作即可，其他按默认值取0，即为不需硬件中断输出、75μs去加重、不用辅助硬输出口、启用I^2C。

寄存器0X05的第15位中断模式置0， 第14至第8位搜索门限，默认0001000， 愈大愈是强信号才采取（搜索灵敏度越低），第7654位为天线设置，默认1010， 第3、2、1、0位是电子音量控制，因此，0X08AF为最大音量，0X08A0为无声。

可见通过写上述寄存器就操作RDA5807。

寄存器0X0A：第15位保留为0， 第14位为搜、调完成标志，完成自动置1，13位是搜索失败标志，在设定门限以上搜不到台自动置1，12、11位保留为0，10位是立体声指示，是立体声台自动置1， 第9到第0位是接收电台的频道编号。

寄存器0X0B，第15位到第9位是信号强度，第8位是真台标志，第7位是搜索准备标志，其他不用。

可见读出这两个寄存器就可以知道RDA5807当前的工作状态。也可根据读出状态决定操作，例如只搜索真台，或只搜索立体声台，但是逐点调谐则把这点的信号全部接收。

关于上述寄存器的详细情况，可以参阅商家提供的《RDA5807编程指南》。

编程要点

总体程序循环很简单，就是启动后对单片机、液晶、收音模块初始化，然后进入查键 - 扫键循环，根据按键去执行相应程序。因为具体涉及控制较多，所以总体分解为几个模块，每个模块内包含一系列函数，各自完成一项具体工作。编程平台还是 GCC 加 AVRSTUDIO 4.13 版，注意以下几点：

1. 按键查询及防跳不使用老的延时等待按键释放，而是采用主循环计数定时，检查按键状态变化的方法，比老办法响应快也可靠。

2. 所使用的3V液晶，不能用5V液晶的初始化方法，否则无显示，具体见代码。按照电路图中的4线制接线，显示数据先右移4位，送入高半字节，然后再送低半字节。

3. RDA5807采用接口复合格式进行I^2C通信编程，这时它的硬件“写”地址是0X22，硬件“读”地址是0X23，寄存器子地址就是上述0X02、0X03等。用了一系列“宏”来表达ATmega8的硬件控制I^2C的操作。

4. 定点调谐比较简单，把0X02寄存器的“搜索位”关掉（置0），设置0X03寄存器到频率点（编程用的是频道号）即可。要注意的是为了把频道号写入0X03寄存器的高端，需要先进行左移6位操作然后和低端控制位组合成16位字，分高低字节写入0X03。搜索编程是先设置0X03寄存器到频率点，然后启动0X02寄存器的搜索位，开始搜台。等待40ms后读0X0A寄存器的第14位搜台完成标志，如未搜到等10ms再搜，直到搜到台，然后读寄存器0X0B，判断第8位是否真台，如是结束搜索，置软件标志以便存台，如否则再继续搜索。

5. 编程不必一次完成全部，可以分步以便于调试，例如首先把液晶搞亮，然后让各按键正常，可以插入临时程序，功能正常以后再删除，逐步完善。修改代码时不要立即把旧的删除，注释即可，以便不成时返回原位。这样在出现问题时可以及时改正。

硬件装配

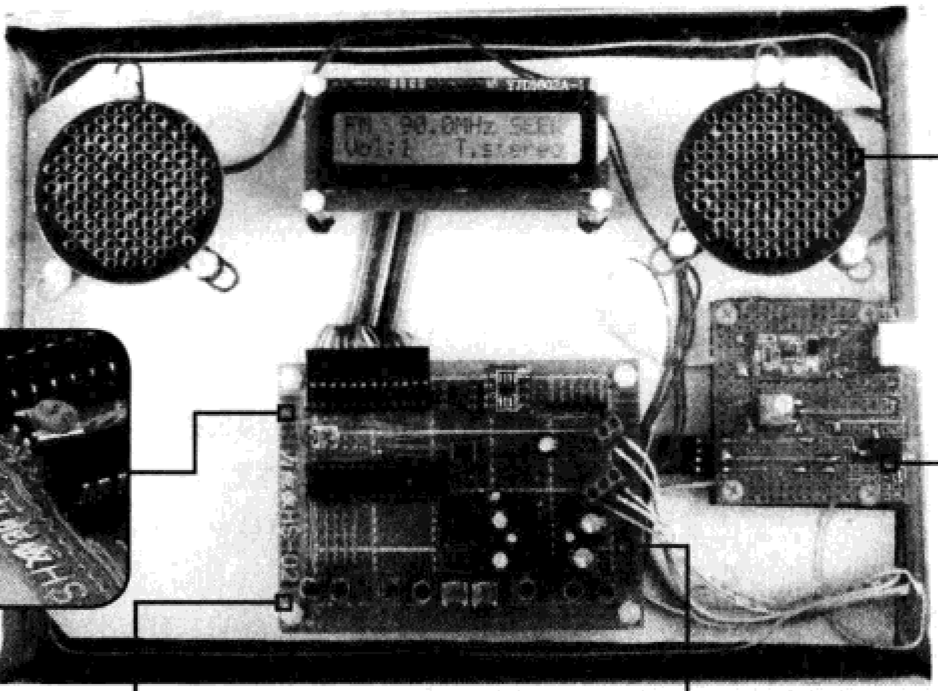
元件选用：所有固定电阻、电感、退耦电容都使用贴片元件，电解电容为普通直插，可调电阻用小型卧式。按键用长柄的（需视机壳厚度和电路板安装高度而定）。直插集成电路用插座。低压差稳压集成电路太小，万用板不好装，用了一小片 SOP 转 DIP 的 8 脚转换板，勉强用。

硬件安装

采用了两小块万用板。较大的安装单片机、收音模块、功放块、稳压电路、按键以及相关电阻、电容、电感、插针排，见图 5。较小的安装 USB 插座、立体声耳机插座、电源开关、充电电路、锂电池见图 6。注意 B 型 USB 插座的电源正负引脚如图 7 所示。这样比较灵活，可以适配不同尺寸的外壳。扬声器、液晶用软线和排线分别和两块板相连。扬声器的公共线留长些（70 ~ 80cm）找到一个空的巧克力盒子废物利用做外壳，在盒盖和盒底侧面打孔，让按键柄和插座伸出盒外，盒盖上还要在扬声器前边钻很多透音孔，见图 8、图 9。在盒底和盒盖上粘结塑料垫柱用来固定电路板和扬声器，见图 10。锂电池用双面胶固定在电源板背面。

调试

硬件安装完工后仔细检查接线，不得有误。VCC、VDD对地不得短路。先不焊接电池和充电板，不插集成电路，不焊 LDO 正电源，断开液晶，插上 USB 电缆，按下电源开关，



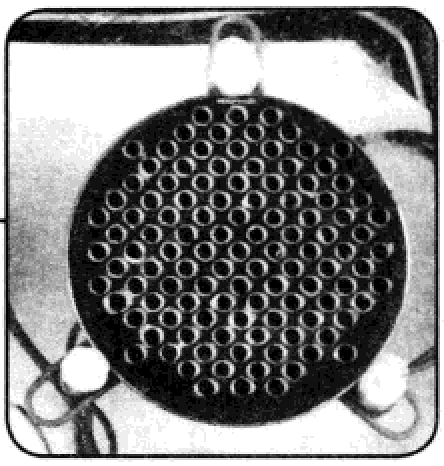


图9

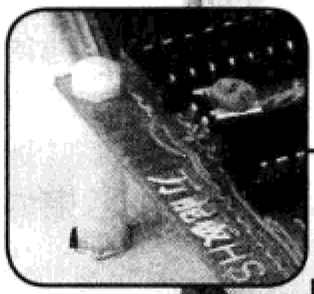


图10

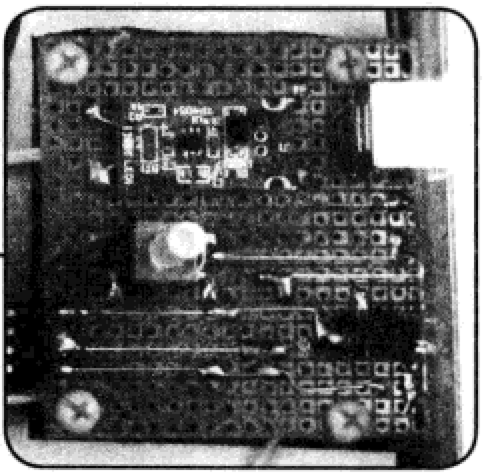


图6

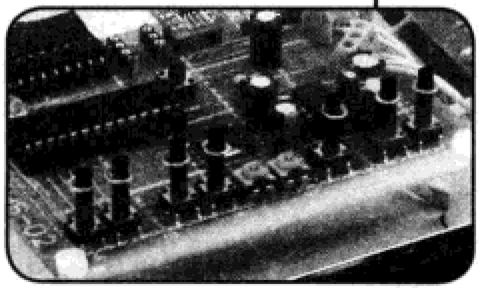


图8

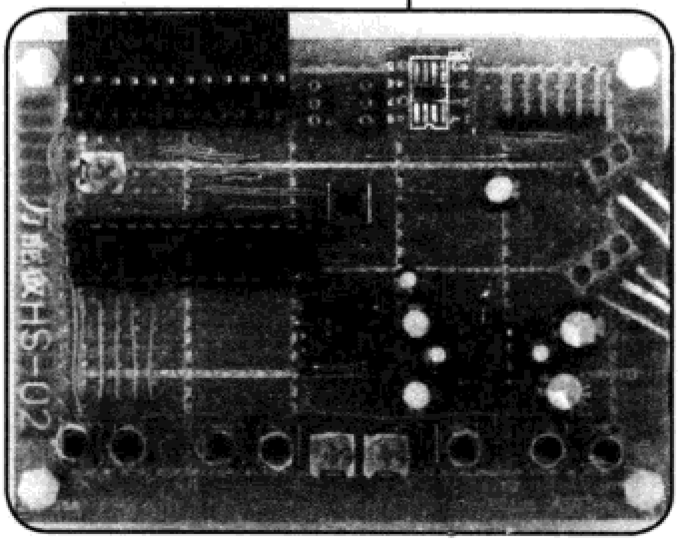


图5

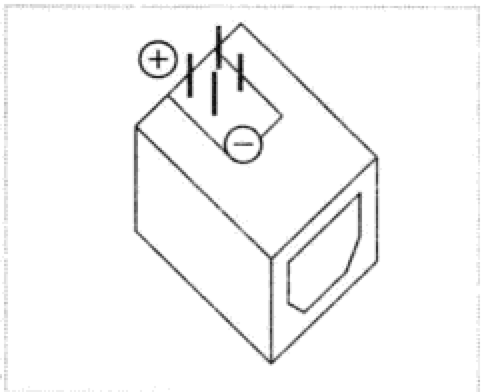


图7

核对5V的极性是否正确，没有问题再焊好上述元件（充电板和电池除外）。再通电，检查LDO是否有3.3V输出，IC插座上电源对不对，液晶电源线对不对，没有问题，断电插好IC，连好液晶，送电，液晶背光亮，电源就没有问题了。连接下载线下载程序。再启动后就运行软件，液晶有显示，调节对比度至最佳。如果一切正常，就可以收音了。插上耳机听一个说话节目，可调电阻VR2、VR3调到1/5处，把电子音量开到最大，耳机应无明显失真，如嫌声音太大再减小可调电阻，最后仔细调节使得声音在头顶即可。用不着也没办法去调什么本振、中周等，最多就是通过程序预置收音模块中的0X05寄存器的搜索门限值。完成后拔掉USB电缆，接上充电模块和电池，检查正负无误，弹起电源开关，插上USB电缆，充电板上的红灯亮，说明已经开始充电。要经过4个小时左右，红灯灭，充电完成。拔掉USB电缆，按下电源开关，液晶亮，收音机可以工作啦。在中低音量时，全机工作电流在50mA左右，充一次电能够连续使用10余小时。

使用

开机后，液晶亮，按S2，上排显示FM78.1MHz TUNE，按S4搜台，如果搜到88.5MHz就显示FM88.5MHz SEEK下排显示Vol:1 T.stereo按音量+（键S7），声音增大，Vol后的数值也从1、2、3一直加到D、E、F然后回到1。T.表示是真台，stereo是立体声。搜到台后如果按下存台键S1，此台就存入EEPROM，下次按下回放键S5，就立即调谐到上次存入的频道。可以存10个台，然后再存就抹掉最先的那个。

实际效果

与在广州番禺地区和从广播论坛买来的小数字调频收音机“凯世”W62对比，能搜索出成品机能收到的所有电台20多个，频率指示相同，说明这个自己打造的收音机性能的确还过得去。

单片机开发工具DIY

◎宋宏嘉

再谈用CH341A自制单片机程序下载器
——带着USB向UART和ISP进军！

前言

在《无线电》2009年第9期中，傅建前辈在《简易USB转ISP下载线》中已经详细地为大家解释了如何利用CH341A自制ISP下载器的方法，灵活、简单易学，非常适用于广大单片机初学者。笔者也是看了这篇文章才开始关注CH341A的，经过仔细查看相关资料，发现CH341A是一款“潜力”很大的芯片，我们还能够使用它的UART（异步串口）转接功能，这样一个简单的芯片，如果将两种功能结合在一个模块上，我们就可以烧写市场上初学者常用的大部分单片机（如STC公司的增强51系列、凌阳公司的SPEC061A单片机、Atmel公司的AT89S51/2以及AVR的Mega系列）。

整装待发

那么如何配置电路，有哪些注意事项呢？想必大家都迫不及待地准备“小试牛刀”了，那我们就带着USB向UART和ISP进军吧！为了让众多初学者有更加清晰的认识，在这里我也给大家简单分析一下电路。

CH341A可以将USB转换成异步串口、同步串口、打印口、并口，可谓功能强大，我们这里只用到异步串口（即UART）和并口模式（连接成ISP模式），注意在该芯片的数据手册中，不同的功能对应不同的引脚名称，《简易USB转ISP下载线》一文中的电路图用的是并口打印模式下的名称，这里我们使用UART模式下的名称，芯片引脚只是名称不同，但顺序是一样的。

原理介绍

具体电路如图1、图2所示。其中图2为常见的RS232电平转换电路。

和之前一样，我们使用USB接口的5V供电，注意要在9脚接4700pF 或者 0.01 μF 的电源退耦电容（这个很重要，推荐103瓷片电容，许多制作者因该电容选择不当而不能正常使用），还需要给VCC接滤波电容，提高稳定性。另外系统晶振频率也必须是12MHz。注意USB接口负信号和电源正是靠近的，在连接的时候不要弄错了USB接口的4根线。

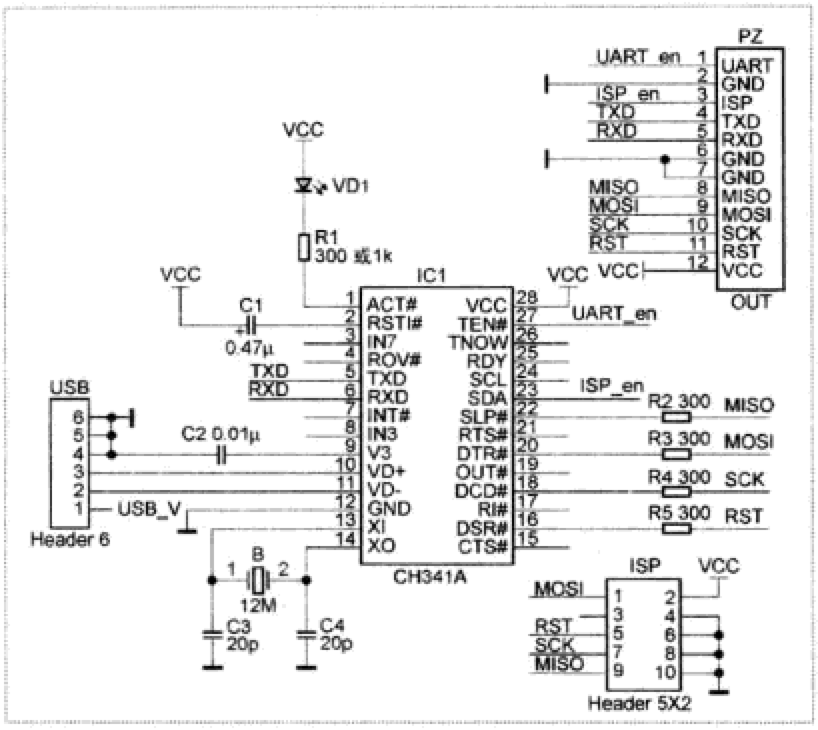


图1

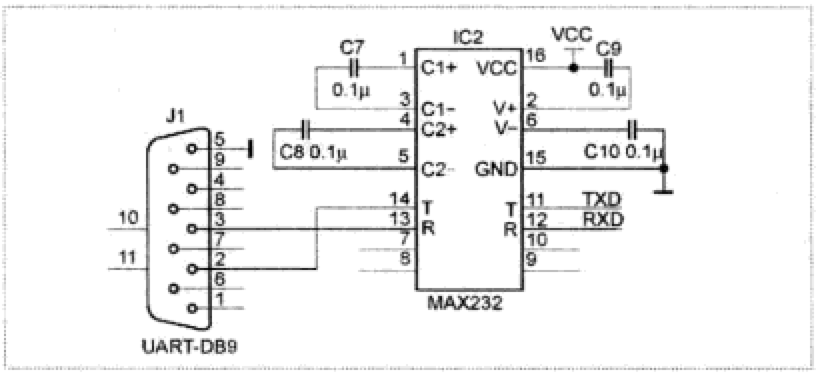


图2

ISP功能实现电路和《简易USB转ISP下载线》中的一样，这里不再赘述。重点说明的是UART功能。请注意芯片的功能配置，当23脚接地，27脚悬空的时候为ISP下载功能，当23脚悬空，27脚接地的时候使能UART功能。在电路中设置一个简单的接地跳线就可以实现二者的转换，十分方便。我们从异步串口说起，5脚和6脚分别为异步串口的数据发送TXD和数据接收RXD（内置上拉电阻）。这已经是TTL电平了，可以直接和单片机连接，如果要进行RS232电平转换只需按照图2中的电路连接即可。有了串口就可以给STC增强51和凌阳SPEC061A单片机烧写程序了，这两款单片机编程原理类似，都是在单片机中已经烧写了启动代

码（Bootloader），将由串口接收的程序数据利用“Flash自编程”技术实现单片机自烧写。这种方式节省IO资源，简单易用，解决许多电脑没有并口的烦恼。补充说明的是，CH341A为用户提供了串口通信的指示功能，4脚、25脚、26脚分别是串口接收缓冲区溢出、串口接收就绪、串口发送正在进行的状态指示，笔者本着简单实用的原则就没有使用这些功能，如果读者有兴趣可以查看数据手册。

芯片1脚为USB设备准备就绪指示（当准备好时电平置低），2脚为硬件复位引脚，为了在电源上电期间可靠复位并且减少外部干扰，建议在 2号引脚与 VCC 之间跨接一个容量为0.47 μF 左右的电容。

到此为止，硬件工作完成，读者可以制作PCB，图3是笔者制作的板子。到了这里离成功还有70%的路程！

驱动行进时

许多读者抱怨无法正常使用CH341A进行单片机编程(或者无法识别芯片)，归根到底都是驱动的问题，这里详细介绍一下。笔者在使用 UART 功能时，就曾经因为驱动安装失误而导致蓝屏两次，后来发现竟然是没有安装最新版的驱动，最新版的串口模式驱动 2009 年 6 月发布，请到 http://www.wch.cn/download/list.asp?id=65 下载，该版本驱动稳定性很好。驱动安装特别注意的是 USB 转异步串口模式在 WINDOWS 2K/XP/VISTA 系统下的流程，首先运行 CH341SER.EXE 安装程序，点击“INSTALL”，再退出程序，将计算机与 CH341A 连接即可发现新硬件，选择自动安装即可。如果驱动安装成功，在设备管理器下多出个 COM 端口，一般从 COM3 开始分配，如图 4 所示。注意如果第一次插入设备计算机没有提示发现新硬件，请检查硬件，主要检查以下几个方面：1. USB 信号线有没有接错，VCC（红）、UD-（白）、UD+（绿）、GND（黑）；2. 晶振是否起振（如果起振，两端的电压应该在 2.5V 左右），如果还是不行，可以试试在晶体两脚并接 1MΩ 的电阻或者更换晶体；3. V3 引脚的电容是否为 103 电容；4. USB 线是否为屏蔽线，线的长度不能超过 5m；5. 芯片模式配置是否有误。这里再有个小提示，因为芯片是 SOP28 封装，大家在手工焊接时用锡量不要太大，以防短路，在焊接完成后可以用万用表二极管挡位测量有无虚焊。

另外需要提醒各位读者的是不同的芯片功能需要安装不同的驱动，但安装过程一样。其实，该芯片的主要功能就是将USB通信中的数据取出并转化为UART和ISP结口，对计算机来说，和拥有一个串口（COM）是一样的，所以对于上位机编程（如VC、VB）实现与单片机通信，直接调用系统相关API即可。

在使用串口功能时，为了保护芯片，必须在应用程序关闭该串口后（即没有应用程序使用串口），才可以断开CH341A与计算机的物理连接。如果在应用程序使用CH341A串口的过程中，CH341A串口设备与计算机意外断开，那么应该尽快关闭应用程序串口并退出（关闭及退出可能需要数秒时间）。如果在CH341A串口通信过程中发生错误，极有可能是CH341A串口已经物理断开，所以在检测到错误后建议关闭CH341A串口，稍等两秒后再重新打开串口通信。

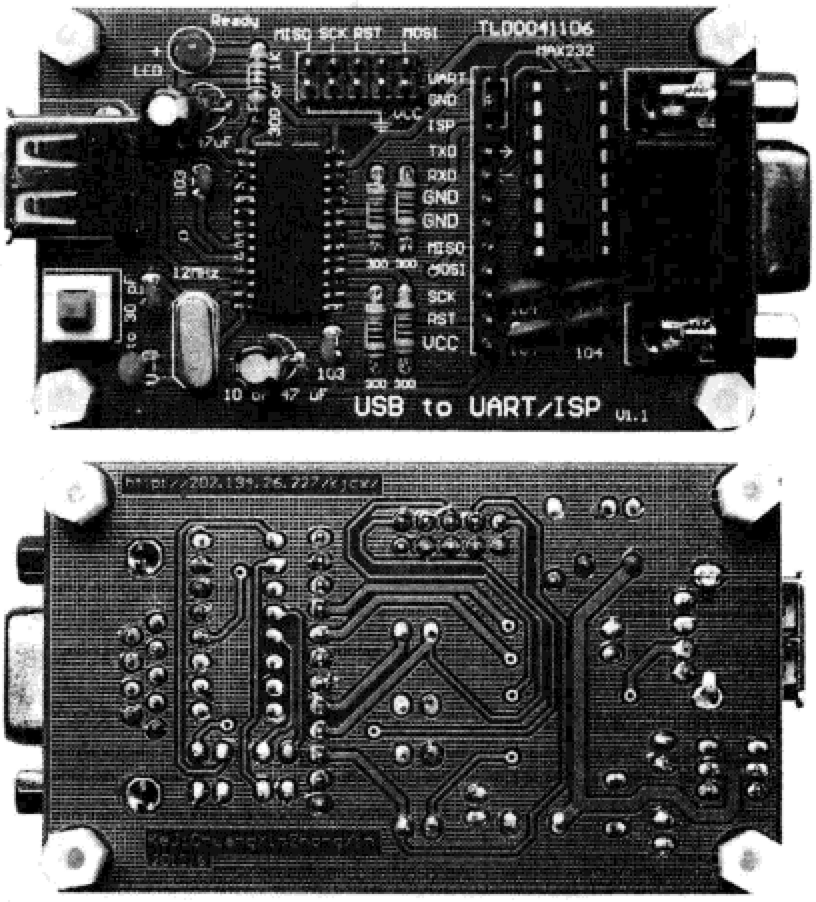


图3

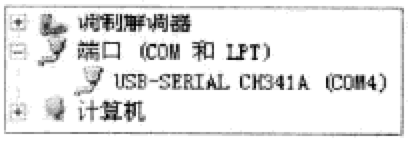


图4

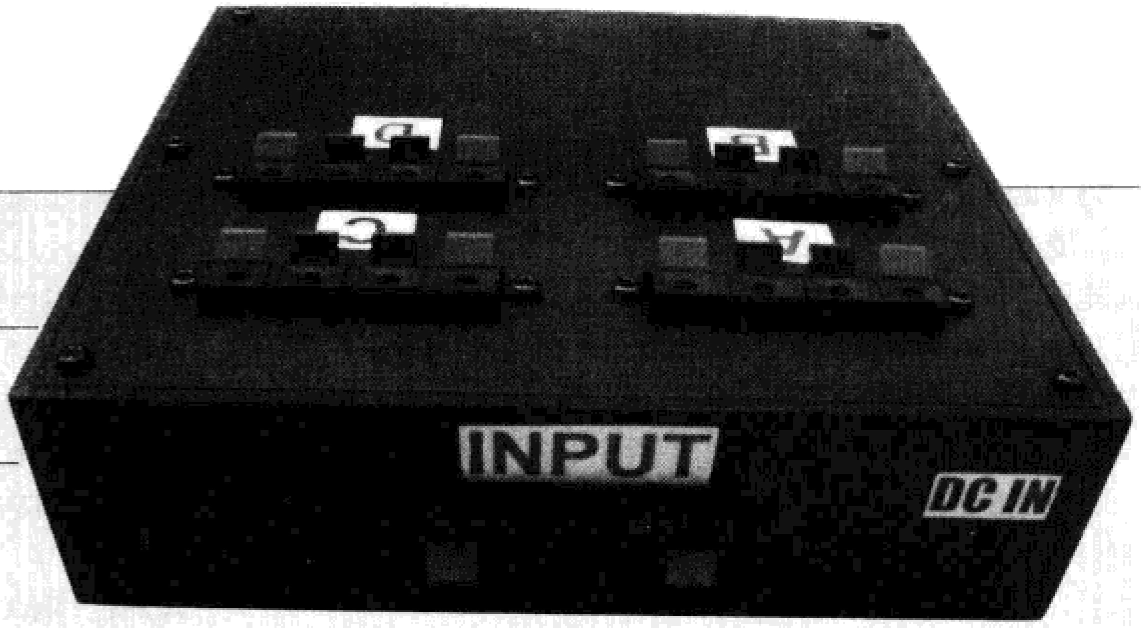
虽然这些条条框框有点烦琐，但都是芯片使用中的共同要求，只要大家稍微注意一下就可以稳定地使用了。现在看着自己制作的板子稳定工作，倍感欣慰，以前因为没有正确使用芯片而浪费的时间也没有白费。

抵达终点

笔者计算了一下，自制成本为 20 元左右，非常适合学生用户，其实这样的模块在市面上已经卖得很多了，但是价格不菲。这里和大家分享一下制作经验，是希望大家能够更多地尝试 DIY 的乐趣。为了更加体现开源的精神，笔者将PCB 文件也与大家共享，有需要的读者可以到《无线电》网站下载。

至此，整个板卡分享完毕！希望大家多多动手，多多实践，在科技创新的道路上走出不凡的一步！

无线遥控的四路扬声器选择器



◎朱双贵

笔者是一家扬声器生产企业的工程师，负责扬声器的开发。由于经常需要进行对不同扬声器进行对比听音，连接扬声器的功放后级需要接一个切换器，以同时对比多款产品的声音。用于听音的切换器总是产生“喀喀”声，笔者拆开后发现机械式推-推开关内部磨损严重，接触不良，于是萌生了一个想法，动手制作一款无线遥控继电器电路，用作开关的切换器。

笔者自制的这款选择器主要由两个部分组成，分别是遥控部分和开关部分。

遥控部分，笔者直接采用了市面上现有的遥控套件（PT2262/PT2272），这个套件很容易在电子城买到，我是在淘宝网上买的（见图1）。

PT2262/PT2272被广泛应用于汽车类防盗器及遥控电器开关，具有稳定，遥控距离远和寿命长等特点，大家应该都了解得比较多了。 这里，笔者选择了具有锁存功能的的接收模块。另外，为了保证多个遥控不相互干扰，并使其有一定的保密性，我们可以对发射/接收模块作一个编码，只要发射/接收模块编码一样，就可以配对工作。编码脚可以任意设置为1或0（接高电平与低电平）。

接收模块有7个引脚输出，依次为VT、D3、D2、D1、D0、VCC、GND，VT可以外接一个LED，用做遥控时的指示

图1 淘宝网上有很多遥控套件的销售信息

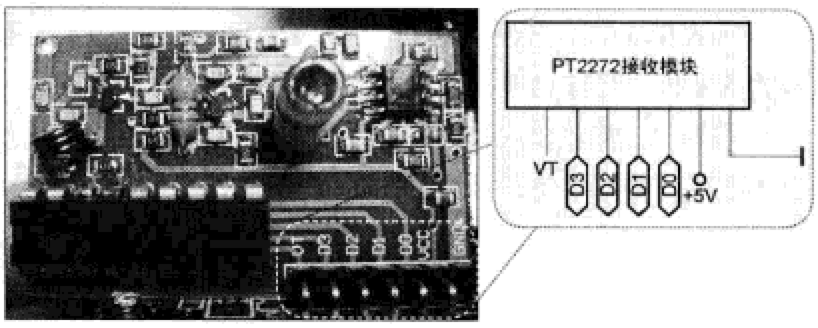


图2 接收模块上的引脚顺序

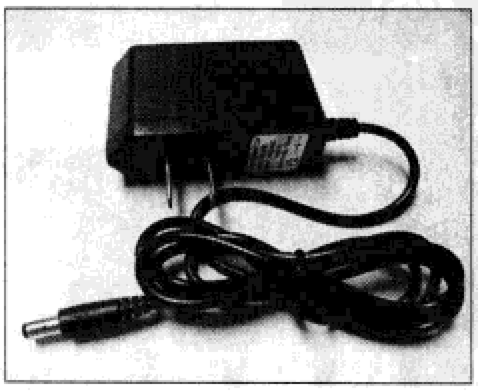


图3 用手机充电电源成品作为驱动电源

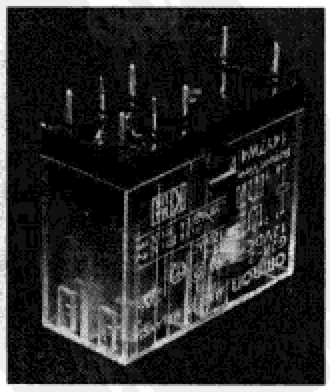


图4 继电器

灯，D3~D0为逻辑电平输出脚，VCC为电源+5V输入，GND为地（见图2）。

选择好遥控电路，接下来考虑的就是电源与继电器的驱动电路了。

电源相对来讲比较简单，可直接将一个12V/1A的手机充电电源成品用作继电器的线圈驱动电源（电子城通常卖8~10元）（见图3）。

继电器选用12VDC 8脚双组继电器（250VAC/5A）的就可以了，笔者选用的是OMRON G2R-2-12VDC（价钱在7元左右）（见图4）。

由于遥控接收模块工作电压是5V，所以需要在手机充电器输出电路上接一个7805（IC1），稳压后供给接收模块，电路原理图（见图5）。

发射模块（也就是遥控器本身）已经带了电池了，直接就可以使用。由于接收模块输出的+5V是不能够直接驱动继电器的，需要用2N5551或8550等常见的开关三极管来驱动继电器线圈，笔者使用的是2N5551，继电器驱动电路原理图（见图6）。

接收模块的输出通过电阻R12、R22、R32、R42接到三极管的基极，当按动遥控器上A、B、C、D4个按键时，接收模块D3~D0便会相应输出高电平，高电平使三极管工作在饱和导通状态，继电器线圈获得电流并吸合，常开触点闭合，继电器线圈上并联1个LED（LED1~LED4）和1个限流电阻（R11、R21、R31、R41）作切换指示用，切换到哪一路，相应的LED就会点亮。二极管VD11、VD21、VD31、VD41是防止线圈在断电后的瞬间感应反电动势损坏其他元件，实物电路见图7。

因为本电路简单，我们可以直接用万能板搭焊，笔者手头刚好有一个带继电器驱动的类似PCB，笔者将手头的这个PCB走线不对的地方用刀片划开，然后用电线直接跳接。继电器要用胶水固定在板子上，继电器引脚输出可直接焊电线（图8）。

焊好后，测试了一下，功能一切正常。笔者所在的工厂刚好有负责制作工具的部门，近水楼台，就特地用ABS板材做了个盒子，这样实际用起来会更方便，也更美观了。

接下来就是端子的连接。端子选用常见的按压夹线4脚端子（见图9），L/R声道输入的两个正极分别接在继电器中间的两个引脚上，四路切换的输出接在继电器的常开引脚上，L/R声道的两个负极直接对接，但两个负极不要并联，分开走线。接线图参考图10、图11，然后，将电路组装进外壳就做好了。这里，DC的输入要用两根电线，从PCB上引到外壳的后面，便于接电源。

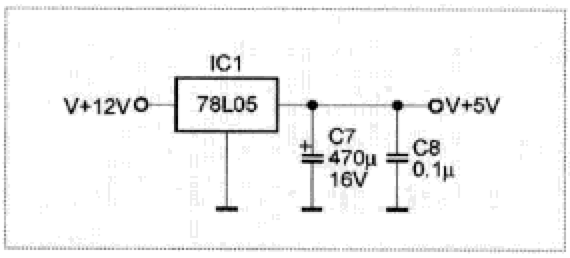


图5 充电器和接收模块间要使用稳压电路

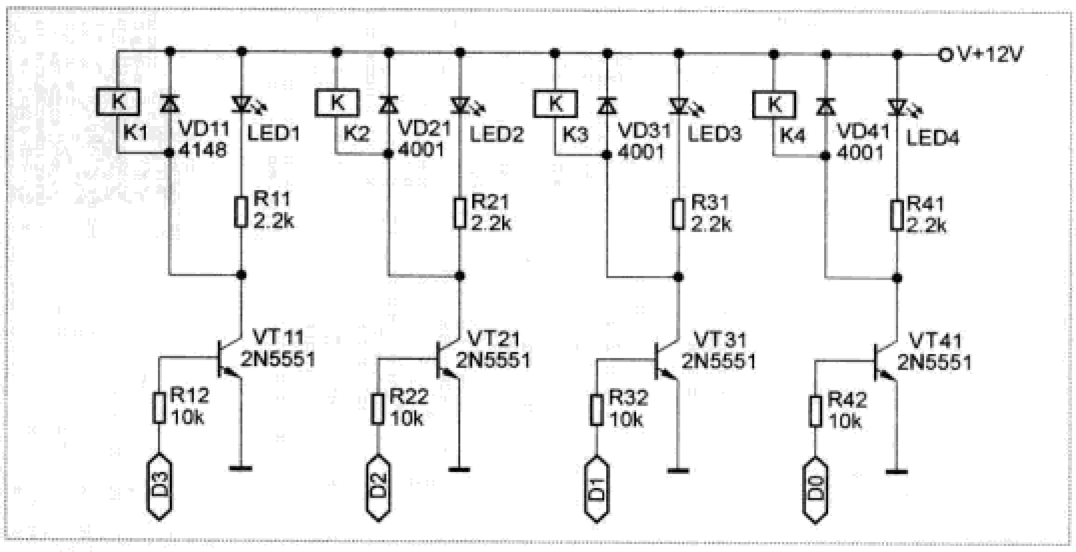


图6 继电器驱动电路

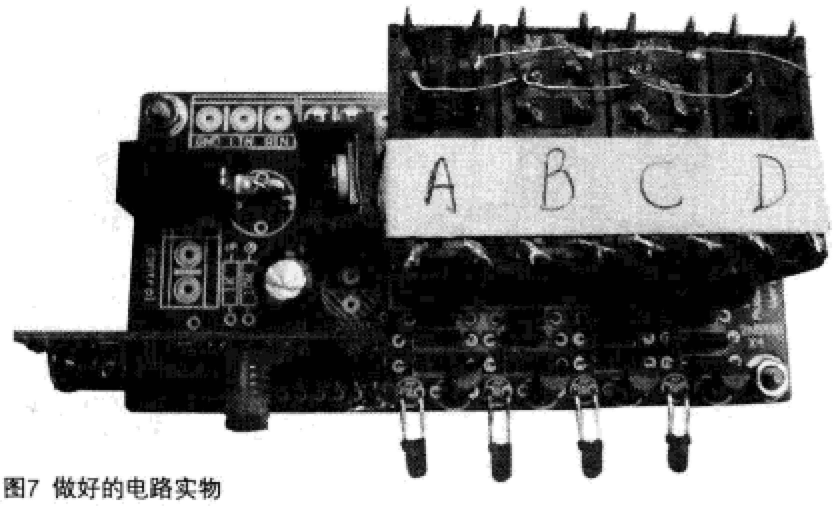


图7 做好的电路实物

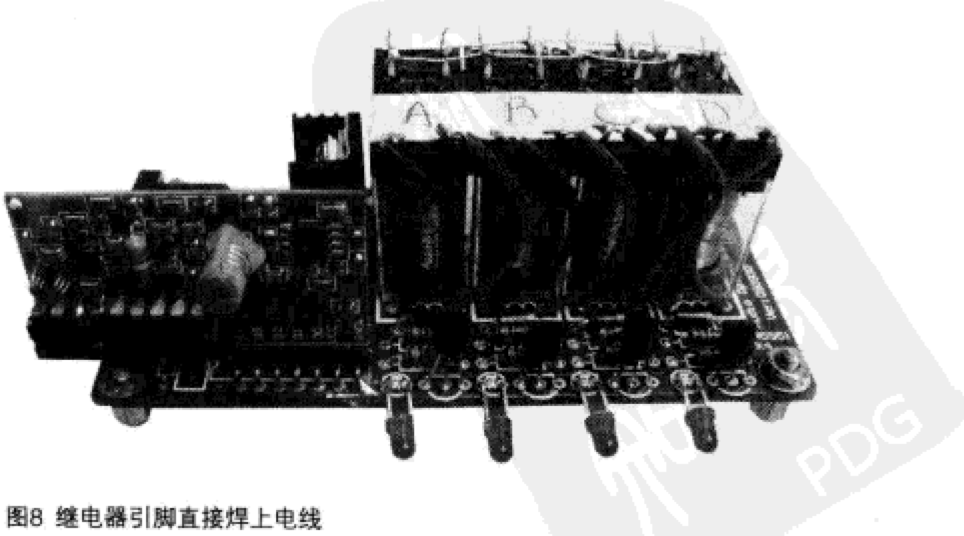


图8 继电器引脚直接焊上电线

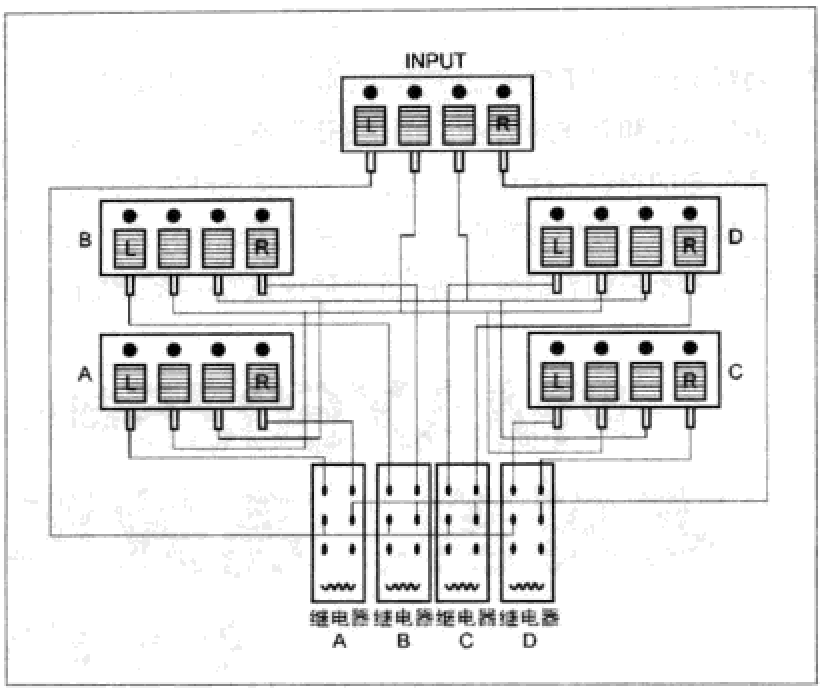


图10 继电器与4脚端子的接线图

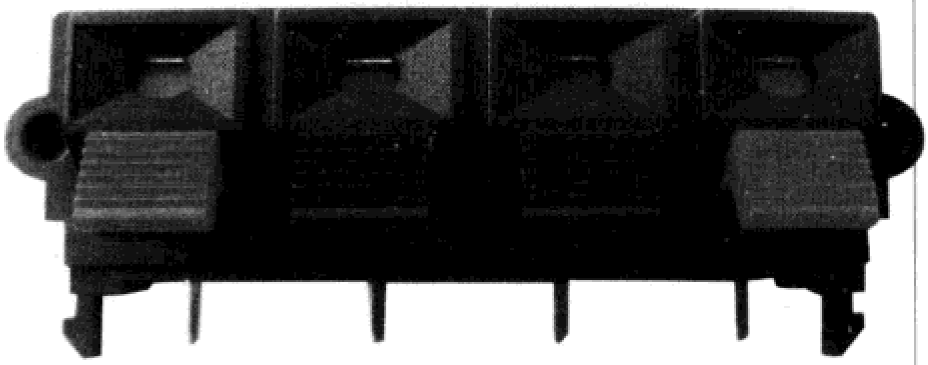


图9 常见的接压夹线4脚端子

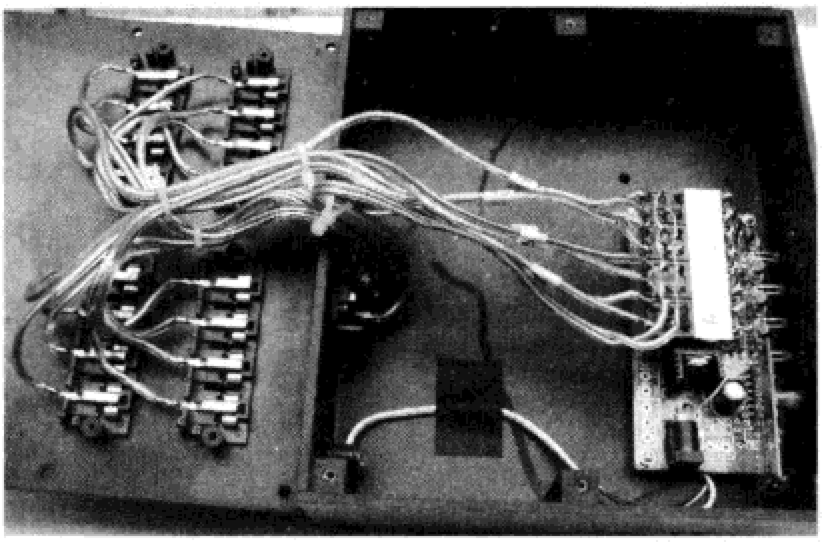


图11 接线实物图

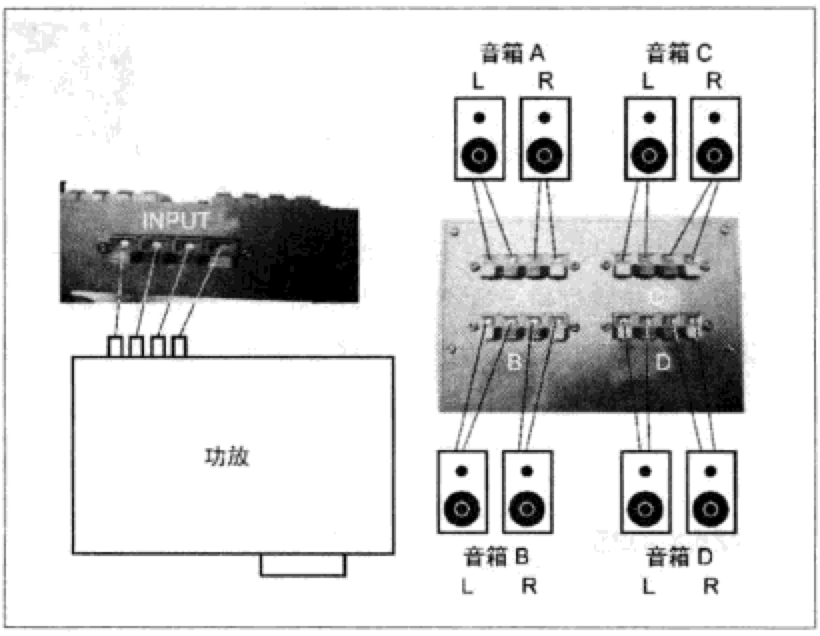


图12 电路与音箱、功放的连接示意图

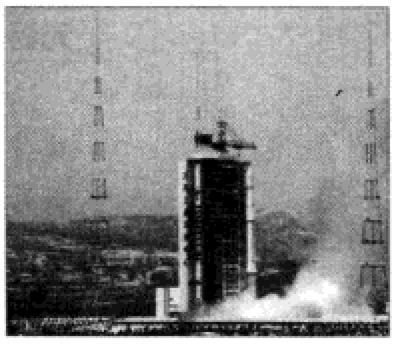
接上电源，将INPUT接到功放的输出，四路输出接到相应的扬声器箱上就可以自由地作切换聆听了（见图12）。这个做好的选择器，笔者目前已用了一段时间了，感觉很好，再也不需要专人在切换器边操作，设计师直接站在听音位置，用遥控器就可以进行多路扬声器的选择了。

另外，这个电路也可以用来在测功放时进行选择，把输入接到扬声器，四路输出 A、B、C、D 接到相应的功放上即可。

我国首颗科普公益小卫星“希望一号”成功发射

2009年 12月15日，中国首颗专门为青少年量身定制的科普公益小卫星“希望一号”在太原卫星发射中心搭载“长征四号丙”运载火箭与“中国遥感卫星八号” 以一箭双星方式，被成功送入太空，并顺利进入预定的太阳同步轨道。

全国青少年航天科技体验活动组委会表示，为促进香港、澳门、台湾和祖国内地青少年之间的交流，增进“两岸四地”民众间相互了解，拟于2010年正月十五(中华民族传统的元宵节)，组织“两岸四地”青少年代表利用业余无线电通信设备，完成“希望一号”卫星首次“两岸四地”通联。



“希望一号”小卫星建立的业余无线电空间电台由无线电通信转发器、UHF天线和VHF天线共同构成，可向地面发送带有遥测参数的信标，地面业余无线电台可通过卫星进行莫尔斯电码、简易的话音和数据通信等空间通信试验。

为开展“希望一号”小卫星青少年业余无线电通信活动，全国青少年航天科技体验活动组委会还计划在包括港澳台地区的全国范围内的中小学校和青少年科技教育活动机构中建立“希望一号”卫星青少年业余无线电通信活动基地，以用于开展青少年业余无线电通信竞赛、应急通信演习竞赛及相关科普活动。

编前语：每年各大芯片公司都会为不同领域的电子应用开发出成百上千的特色芯片，电源、LED照明、音频、通信……在倡导绿色环保的今天，各类芯片的设计和应用都在向着节能和高效的目标前进。对于电子爱好者和专业人员，他们曾经并一直习惯性地使用着一些功能熟悉、性能尚可、购买方便的芯片，以满足他们设计和制作的需求。他们要获取新型芯片的信息并不难，但要在这众多的新品信息中选择出适合自己应用的芯片，除了厂商公布的参数指标和应用范围，总感觉还缺少来自实践验证的信息，如果能先了解一下样片“先行者”的实际体验就好了。从本期开始，我们希望搭建一个展台，为读者介绍一些新型芯片的应用实例，这些应用虽然不一定是在严苛的专业条件下完成的，但却都是作者们亲自动手实践验证过的，希望对读者选购、使用新型芯片有益。

新器件试用台

用MAX5035制作高压差、高效率稳压模块

◎任杰

笔者在一个项目中遇到这样一个问题，需要将48V铅蓄电池的直流电压变换为3.3V的直流电压，提供的电流不小于500mA。要完成这样的DC-DC变换，如果使用线性稳压器，显然是不太合适的，这样会使得绝大多数的能量浪费掉，并且在如此高的压差下，即使流过的电流不大，稳压器的发热量也不可小视，散热器也会大得夸张。更重要的一点就是，输入电压达到48V的线性稳压器，实属罕见。所以，毫无疑问，只能考虑开关稳压器了。

一开始，笔者很自然地想到了熟悉的LM2576，它的效率高，外围电路简单，输出电流大，似乎挺合适的。但如果仔细一想，却发现问题重重。首先，LM2576的输入极限电压只有45V，用在这里，有点冒险。其次，这里只需要500mA的电流，LM2576就显得大材小用，况且，LM2576大的输出电流是以牺牲电路板面积为代价的，因为LM2576不仅本身个头大，并且需要的滤波电容以及储能电感个头也大。最后，也是不可忽视的一点，LM2576的开关频率只有52kHz左右，也就是比两倍的音频上限频率（20kHz）稍大些，这就使得输出电压的线性度不好，特别用于音频设备的供电时，处理不好就会严重影响音质。

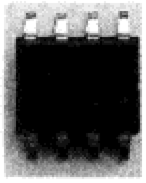


图1

熟悉的解决方案被否决了，只好寻找新的办法。在网络上寻找资讯时，MAXIM公司的MAX5035闪入了眼帘，笔者马上阅读了它的数据手册。 MAX5035的最大输入电压达到76V，最大输出电流为1A，开关频率典型值为125kHz，采用SO-8封装，简直就是为这个项目量身定制！于是立刻申请了MAX5035样片，大约一周之后，样片收到了，见图1。芯片上标的尾数字母表示输出电压值，MAX5035A表示输出电压为3.3V。

认识MAX5035

MAX5035的应用电路如图2所示。

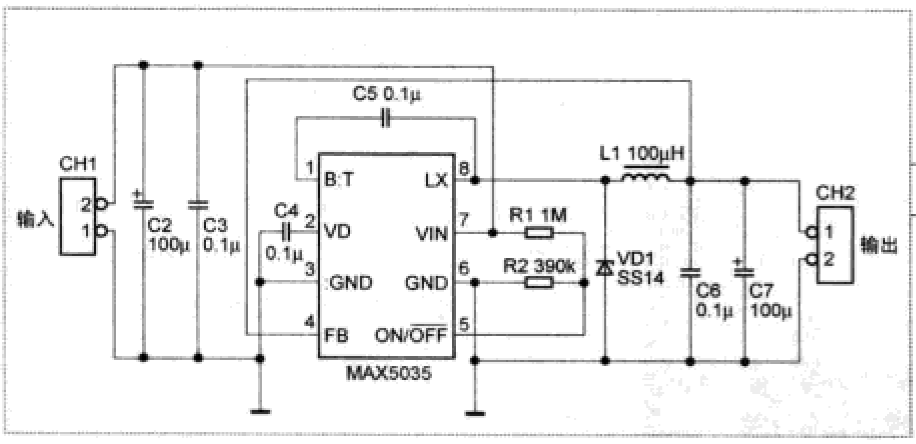


图2 电路原理图

图2中，MAX5035的第5脚为内部振荡器开关控制端，低电平（接地 ）时停止工作，此时芯片处于微功耗状态，通过的电流约10μA，这里没有使用这一功能。输出部分电路与LM2576完全相同，包括快恢复续流二极管、储能电感和滤波电容。但是，由于MAX5035的开关频率比LM2576高，最大输出电流比LM2576小，所以要求二极管的最大允许电流、储能电感最大允许电流以及滤波电容的容量都比LM2576小。LM2576与MAX5035性能比较如表1所示。

元器件选择

为了节省空间，除了输入电容C2和储能电感L1，其余元器件均采用贴片元件。另外，由于输入电压比较高，有些元件的选择需要慎重考虑。

首先是输入滤波电容C2、C3。输入为48V的铅

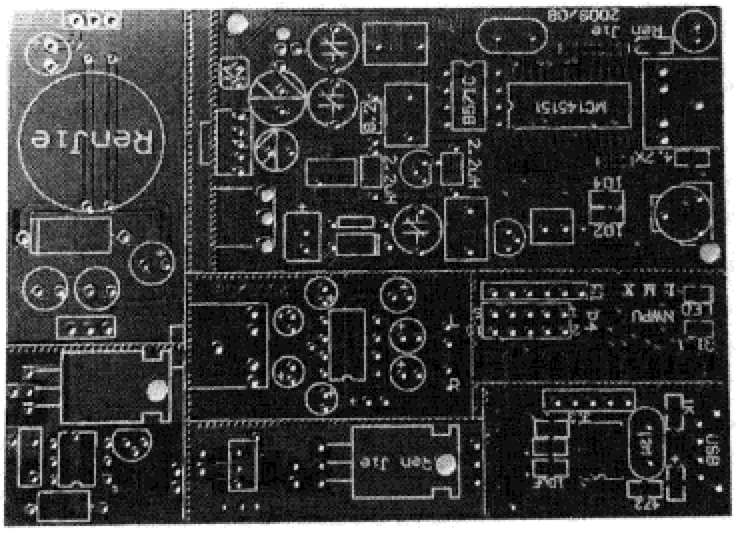


图3 笔者将7块小板拼凑到一张板上

图5 焊接好的模块

蓄电池电压，充满电时电压超过50V，所以C2的耐压至少要63V。C3采用贴片陶瓷电容的话， 0805封装的耐压只有50V，所以笔者使用的是1206封装的，耐压为100V。

其次是续流用的快恢复二极管。选择的原则是最大反向电压大于输入电压，平均整流电流大于输出负载电流。所以，这里应选用50V/1A的快恢复二极管，如SS15。但笔者没有买到SS15，只好硬着头皮用最大反向电压只有40V的SS14代替，好在没有出现问题。

最后，也是开关电源里面最重要的元件——储能电感。由于开关电源输出为幅值，近似等于输入电压的脉冲，且输入输出压差越大，脉冲宽度越窄，这就会使流过储能电感的瞬间电流很大，所以一般要求储能电感的最大允许电流要比负载平均电流大几倍。这里，负载电流小于500mA，采用市售成品电感，标称电感量为100μH，拆开可见内部采用直径0.5mm左右的漆包线绕制而成，基本能够满足要求。其余元件按图2中要求取值即可。电阻和除C3以外的无极性电容均为0805封装的贴片。C7的耐压应高于6.3V，开关电源的输出滤波电容要求要有较低的等效串联电阻（ESR），因此C7最好选用钽电解电容。

制作与测试

这款电路十分简单，但是开关稳压电源对PCB的要求比线性稳压电源更为苛刻，设计不合理很容易引入高频干扰。为了降低布线的难度，笔者选用了双面板。

布线时，有以下基本的几点需要遵守：

所有走线尽可能地短，特别是输出端和反馈端的连线；

输出端的走线不要在电路板上绕行或形成环路；

表1 性能对比

	LM2576	MAX5035
最高输入电压（V）	45	76
最大输出电流（A）	3	1
振荡器开关频率（kHz）	52	125
输出滤波电容推荐容量（μF）	1000	68
静态电流典型值（μA）(停振)	80	10

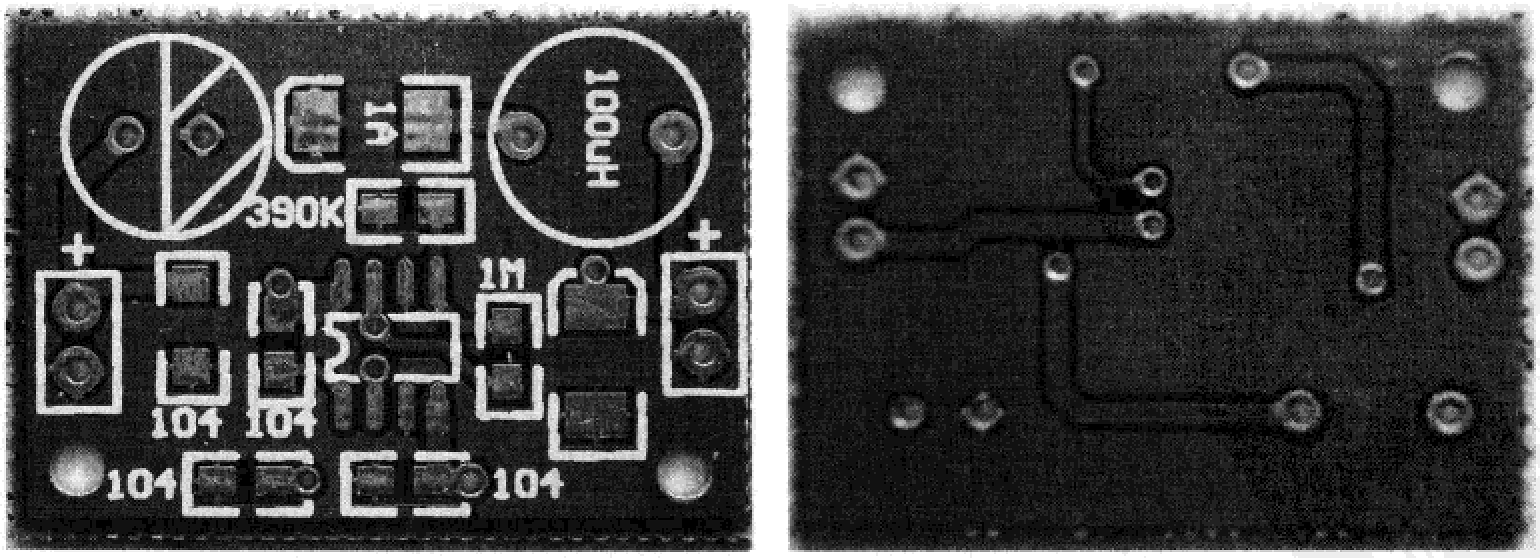


图4 做好的电路板正面和背面

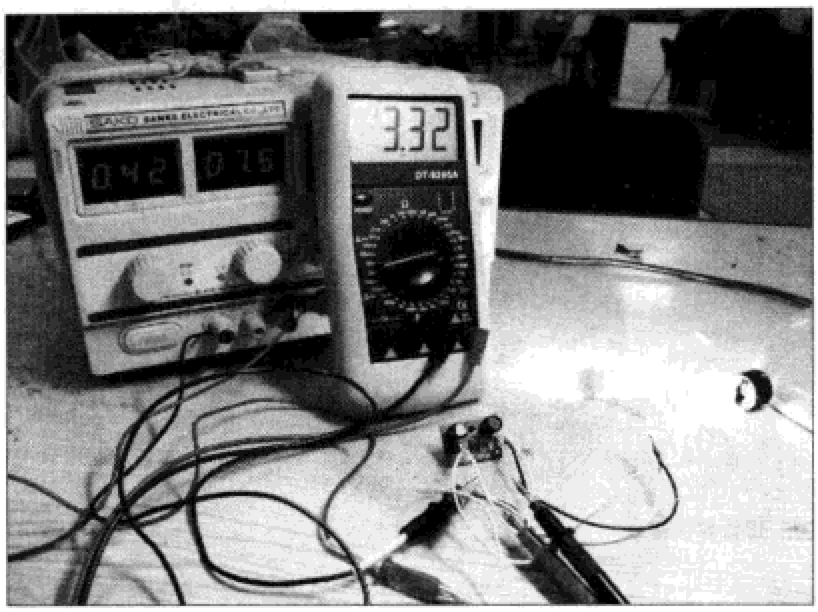


图6 模块测试（输入电压7.5V）

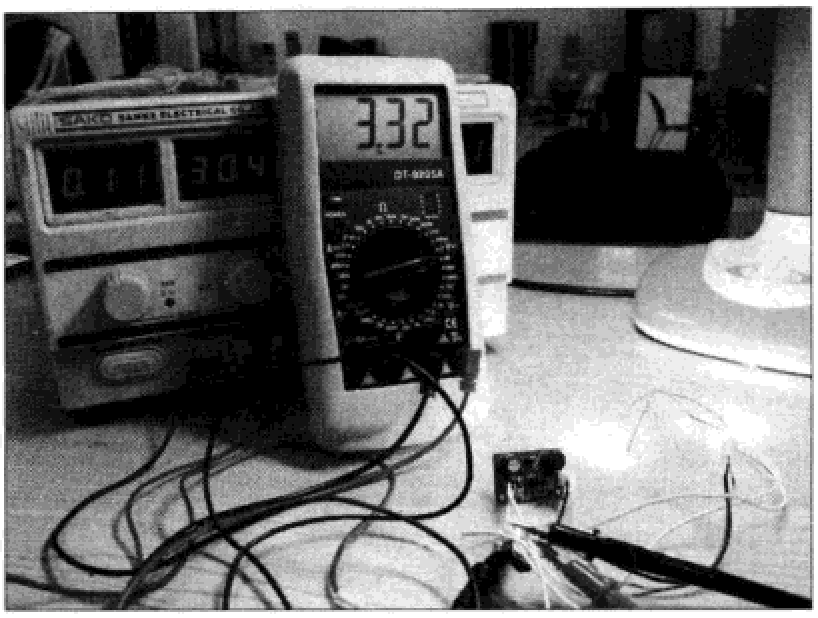


图7 模块测试（输入电压30V）

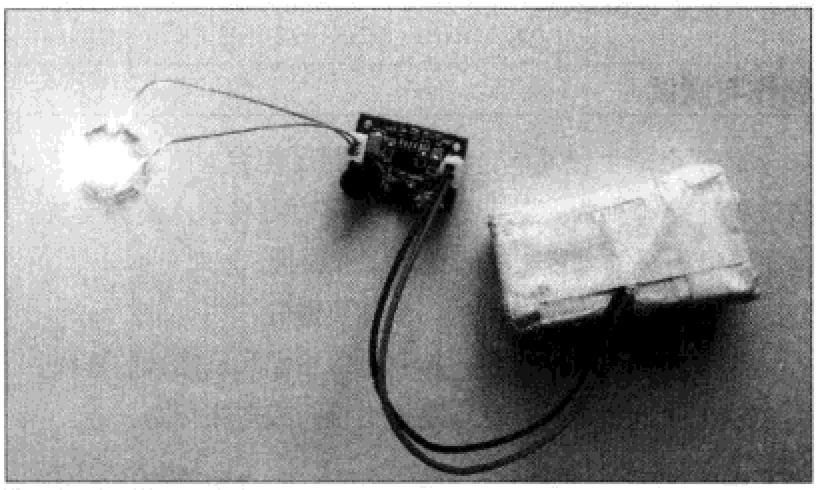


图8 给1W功率LED供电

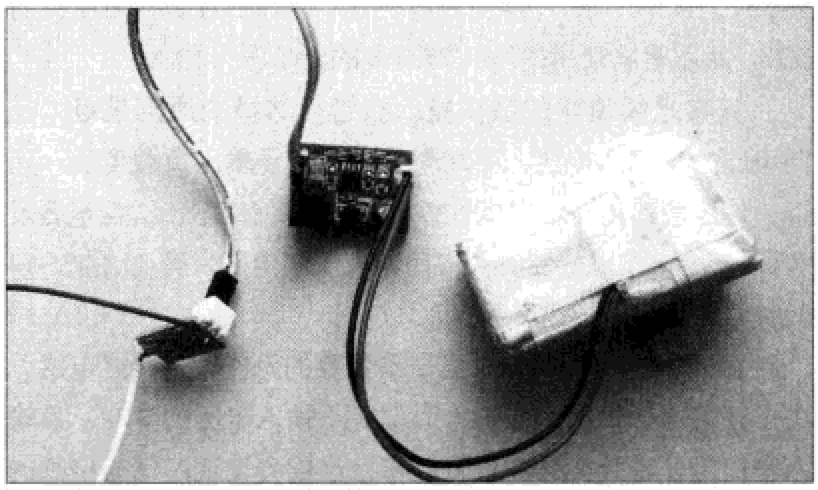


图9 给自制的MAX2606调频发射器供电

所有退耦电容尽量靠近芯片；

合理设置走线的粗细，比如，输入输出端的走线尽量粗，必要时可以去掉阻焊，采用加锡走线的方式。

为了节省成本，这种小板没必要单独送到厂家去做，可以跟其他板子拼起来。笔者常用的方法是将多个需要加工的电路板PCB图复制到同一个PCB文件下，然后将它们拼到一起，边界处挨个放上一排焊盘（设置焊盘大小与孔径相同）。这样可以做出一块可包含多个单元电路的PCB，使用时只要沿着焊盘孔掰开就可以了。采用这种“拼板”的方法，可以大大节省制作成本。图3为笔者制作的电路板，在一块板子上拼凑了7块小板。图4为本次制作的电路板，从参差不齐的边缘可以看出，这块小板也是和其他板子拼到一起后掰开的。

焊接完成后实物电路如图5所示，这就可以通电测试了。

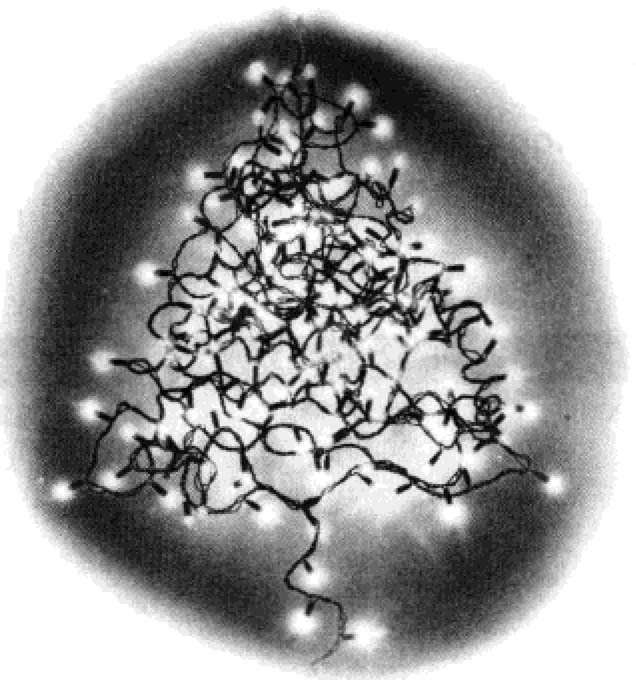
笔者用的是可调直流稳压电源。首先将电源电压调到7.5V（MAX5035的最低输入电压是7.5V），输入到稳压模块的输入端，用万用表可测得稳压模块的输出电压为3.320V，然后接上负载(这里用的是两个1W的大功率白光LED并联)，测得电流在500mA左右，用万用表测其输出电压，基本没有变化，见图6。然后将输入电压调高，测得输入电压在7.5V到30V的变化过程中（图7为输入电压30V测试实况），输出电压波动小于0.1V。然后笔者将稳压电源的两组输出串联起来，测得模块的输入电压在7.5V到50V变化过程中，其输出电压波动仍然在0.1V以内。测试过程中，模块始终处于负载电流500mA左右，用手摸芯片，没有丝毫发热的感觉。

笔者实测发现，单颗1W的LED在3.3V恒压供电的情况下，电流始终在300mA以下，LED能安全工作，因此用该模块给功率LED供电也是不错的选择。笔者正好在一外国网站上找到了这种应用实例。图8为模块给1W功率LED供电的演示，电池为7.4V锂电池。

笔者又将输出3.3V电压用于自制的MAX2606调频发射器（如图9所示），在没有音频信号输入的情况下，收音机里几乎听不到噪声，感觉跟LM1117线性稳压器没什么区别，可见MAX5035制成的电源模块使用效果还是相当不错的。

一起来做个太阳能新年灯串

◎耿伟



欢乐祥和的新年来到了，你有没有打算为即将到来的新年节日准备点什么，增加一下节日的氛围呢？太阳能电池的应用正热，自己动手制作一款太阳能新年灯串如何？白天我们只需要将灯串的控制板与太阳能电池板简单地放置在阳光下吸收太阳能，晚上即可自行发出五彩缤纷的光芒，简单而有趣。在过节时，你就可以好好在亲朋好友面前“炫”一“炫”这自制的灯串啦。

这款灯的制作并不是很复杂。主要由3大部分组成：电源（太阳能电池板、充电电池），光源（市场可以买到的LED灯串），控制电路板（用于控制电路的充放电）。太阳能板、充电电池、光源都可以在市场上很容易买到。

我们要准备的材料，见表1。

需要读者自行动手制作的部分就是控制电路板了。为了帮助读者更清楚地了解其内部结构和原理，图1给出了具体电路原理图。

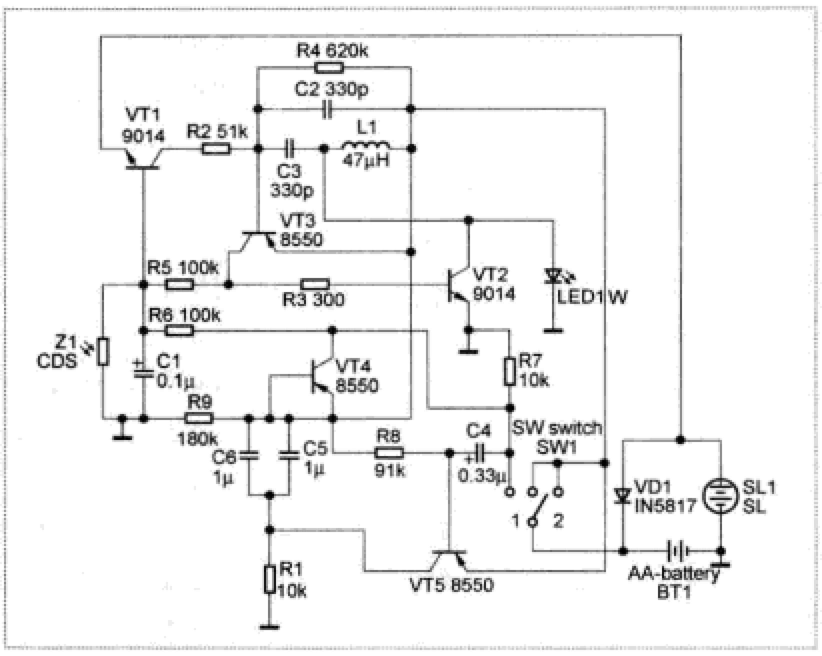


图1 电路原理图

这款电路的PCB布局及走线如图2所示。

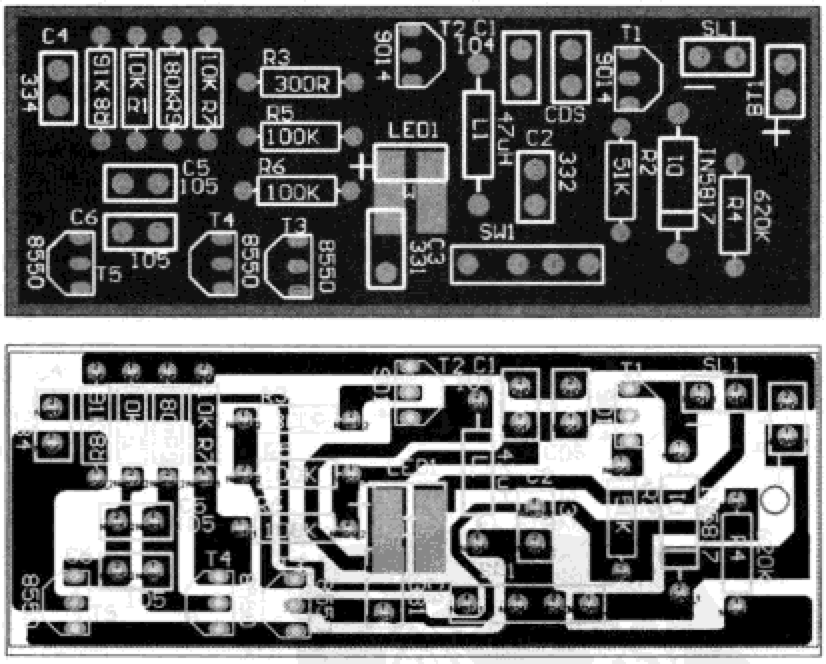


图2 PCB布局及走线

控制板电路的仿真图见图3，实际做好的控制板电路如图4所示。

按电路制作好控制板后，将该电路与LED灯串、太阳能电池板、充电电池连接起来，如图5所示。

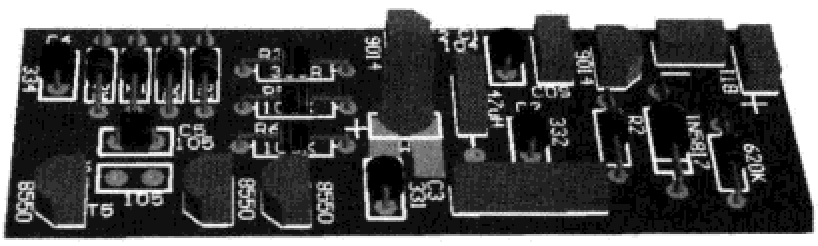


图3 控制板仿真图

图4 控制电路板实物图

组装好太阳能新年灯串后，打开电源开关，电路由光敏电阻CDS与太阳能电池板相互配合来控制整个电路的工作。白天有光照时，电路由光敏电阻控制关闭负载LED，使LED不发光，此时由太阳能电池板对蓄电池充电。当夜晚来临，光线照度低于60LUX时，由光敏电阻控制自动点亮负载LED，我

表1

序号	所需元器件及材料	物料名称	规格	数量
1	PCB	控制板PCB	94V0,CuH:0.25mm,材料09F,58mm×21mm,单面板，顶层涂白色阻焊油	1
2	LED1～LED150	LED	平头内凹，¢5mm,白光常亮,脚距2.54mm，不带边封装（或红/黄/白/蓝/绿），全部采用并联的连接方式，红、黄色LED必须串入1.2kΩ、1/6W电阻	150
3	VD1	肖特基二极管	直插式,IN5817或IN5819,DIODE0.4封装	1
4	L1	电感	色环电感0.5W，47～150μH，封装AXIAL-0.4	1
5	VT1、VT2	三极管	直插式,NPN,9014,TO-92封装	2
6	VT3～VT5	三极管	直插式,NPN,8550,TO-92封装	3
7	C1	瓷片电容	直插式,104,±20%,RAD0.1封装	1
8	C2	瓷片电容	直插式,332,±20%,RAD0.1封装	1
9	C3	瓷片电容	直插式,331,±20%,RAD0.1封装	1
10	C4	独石电容	直插式,334,±20%,RAD0.1封装	1
11	C5、C6	独石电容	直插式,105,±20%,RAD0.1封装	1
12	R1、R7	电阻	直插式,10kΩ,1/4W,±5%,AXIAL0,4封装	2
13	R2	电阻	直插式,51kΩ,1/4W,±5%,AXIAL0,4封装	1
14	R3	电阻	直插式,300,1/4W,±5%,AXIAL0,4封装	1
15	R4	电阻	直插式,620kΩ,1/4W,±5%,AXIAL0,4封装	1
16	R5、R6	电阻	直插式,100kΩ,1/4W,±5%,AXIAL0,4封装	2
17	R8	电阻	直插式,91kΩ,1/4W,±5%,AXIAL0,4封装	1
18	R9	电阻	直插式,180kΩ,1/4W,±5%,AXIAL0,4封装	1
19	CDS	光敏电阻	直插式,型号：LG5537	1
20	SL	太阳能板	尺寸：60mm×60mm，材料：多晶硅或者单晶硅，额定电压:2V，额定电流:160mA，额定功率：2V×0.16A=0.32W，备注：尽量不选用非晶硅材料	1
21	BT	充电电池	镍氢电池：Ni-MH 符合环保ROSH，额定电压:1.2V，额定电流：1000mA 备注：尽量不选用NI-CD镍镉电池	1
22		电池盒	AA单节电池盒或者用2节电池盒改装	1
23		热缩套管	¢3mm热缩套管，颜色不限，长度15mm	300
24		热缩套管	¢8mm热缩套管，套管颜色尽量与灯串颜色一致长度12mm	150
25		开关	开关为小型双刀双掷，可以选择1A电流即可	1
26		塑料外盒	读者自行设计，也可以用电子产品报废的塑料壳	1

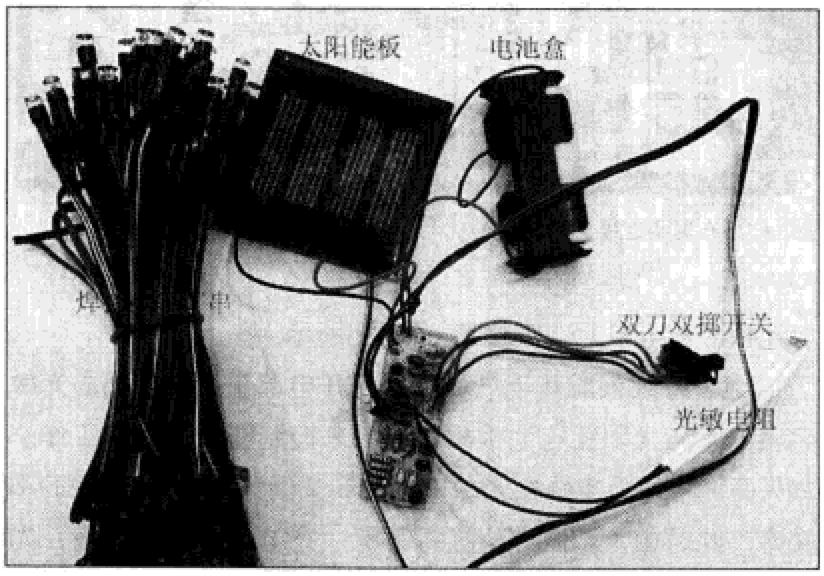


图5 实物连线图

们也可以手动控制LED的发光和熄灭。此电路有双重作用：当电路中接有CDS，电路的通断由CDS控制，当电路中没接CDS，则由太阳能电池板控制。当把开关SW1接通1脚时，LED状态为常亮，开关SW1接通2脚时，LED状态为闪烁。

开关有2个挡，一个为常亮状态，一个为闪烁状态，分别可以显示不同的灯光效果，增加了新年灯串的趣味性。读者可以根据爱好自行调节。

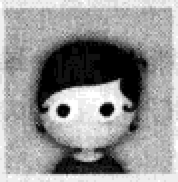
这个制作很简单，各部分连接如图5所示。相信读者看完后，就可以动手为自己的新年制作一份特殊的装饰品了。

最后，希望读者能够从这篇小小的文章里面掌握一点知识，获得一份新年制作的喜悦，也祝杂志的所有读者新年快乐！

<< 上一主题 | 下一主题 >>　118 1 2 3 4 5 6 7 8 >>　　→回 复　✧新 帖

远距离无线话筒的制作——整理自矿石收音论坛（crystalradio.cn）

收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印



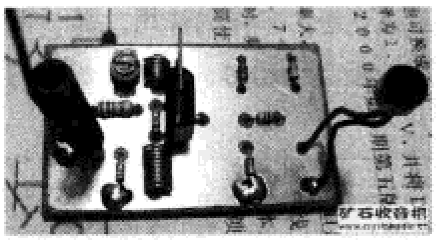
整理：草音

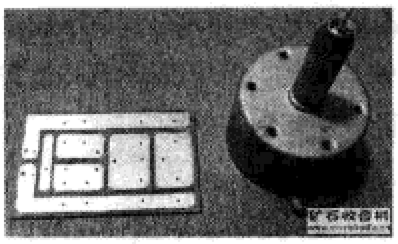
加入日期：2009-12-18

帖子：666

无线话筒一直是电子爱好者们喜欢的制作项目，而且经常见到各种DIY的无线话筒作品。这些作品大致分调频和调幅的两种，以调频居多，常见的电路多采用9018、8050、C2906、BA1404等芯片，笔者在论坛中发现了一个大家讨论此制作项目的帖子，气氛热烈，于是精选出来与大家共享。

（**mpv123**）前段时间在 8031 同学处购得传说中的 D40 三极管，想了却 17 年前 DIY 远距离无线话筒心愿。距离有 1.5km……现在购到了 D40，就赶快 DIY 一把，并把制作过程拍成照片，博各位同学、同好一笑。





其中L1、L2可用Φ0.31ｍｍ的漆包线在Φ3.5mm左右的圆棒上单层平绕5匝及10匝，C3选用5～20pF的瓷介可调电容。

（**光说不练**）其实一个 8050 大概就可以了，犯得着去找 D40 么？既贵又大！

（**mpv123**）以前做过 3DG79 的无线话筒，1.5V、8m、有 150m 直线距离。做 D40 无线话筒只不过了却 17 年前的心愿而已。

（**shirt001**）这个 D40 比常见的几种要大一些！这个电路图和我早先看到的有些不一样！貌似缺少前置放大。

（**zjd1103**）PCB 做得还挺规范，干净，频率稳定吗，接近感应大不大。

（**无人驾驶**）630mA？电压是图纸中的 6V 吗？功率稍大一点，都会干扰数字表读数的，这个电流值不准确的，实物中没看到你高频退耦，用的 102P 电容呀，要是这么大工作电流的话，小瓷片电容可承受不住！

（**ylong777**）电流大不等同于高频输出功率就大，也许有2/3的电流都烧在管子发热上了，我用S8050代替你的所谓D40是一样的效果（也是管温高，跑频等特点），电流大，但功率没有达到理想值（比S9018要强），有2/3的电流都“烧”在管子发热上了，可能你D40的F_T要比S8050高点，所以功率大一点！而且你用数字表测的，抗干扰差，测的电流值是非常不准确的！

S8050和S8550（电源要反接）100MHz、 S9013、S9014、9012、9015都可以单管工作在80MHz左右的频率上，这些管子我都试过，尤其是S9013、S9012和S8050、S8550，比其他管子增益要高，可能是耗散功率大的原因！

（**bookgood**）资料显示9012～9015都可以工作在150MHz左右，我以前都用低频小信号用的，刚才知道也能用高频，只是没用过不知道效果。有人用过吗?介绍一下！

（**ylong777**）9012、9013与8050 、8550参数差不多，都可以单管工作在极频100MHz，100MHz是它们极限振荡频率而不是F_T（特征频率），这些管子我都经过证实了的，9015和9014可以工作在80～90MHz的，只是增益低点！

（**swp**）看见大家讨论得如此热烈也来凑凑热闹。我个人认为：一，无线话筒说白了就是一个简易的小小电台，但很多无线话筒简单得只用了LC电路作主振回路，因此频飘是在所难免的！二，发送距离的远近取决于发射机与天线的匹配、天线的效率、天线的方向性和增益及电波的传播条件等很多因素。90年代，我见过南方出的较专业的无线话筒：话筒电路采用晶体稳频倍频输出（其实与分立件对讲机的发射部分差不多，只是省了激励与强放），9V的6F22供电，而接收机就直接把对讲机的接收板装了进去，二次变频、3357中放。经单位里多年的使用，效果良好，无一点频飘，作用距离也不近。自制无线话筒时，很多朋友都把注意力集中到了发射管子上，而发射管的输入、输出电路的阻抗匹配更重要。曾用C2906做了个无线话筒，LC电路的，结果距离只有1500m，管子温升倒不低。C2906是用在3W/400MHz对讲机上的功放管，可见管子还不是发射距离远近的决定性因素。

（**ldh**）业余实验，有过程也是一种享受，不成功也可以验证资料的真实性，大电流结电容的影响很大，频漂是正常的，有时大面积的敷铜也会影响电路的稳定性，制作过程非常认真，PCB 的制作和焊接手艺了不起，学习。

从本期开始，我们为读者开辟一个“论坛精华”的小栏目，每期一篇，将一些网络热点的讨论呈现给杂志的读者，为读者打开一扇网络丰富信息的窗户，将各个爱好者论坛或技术论坛的精彩展现给读者。这些“论坛精华”的信息，或是网友们为一款芯片的使用而争论，或是为一个电路设计上的细节而探讨，甚至是相互晒晒自己的电子藏品。总之，我们希望能在有限的篇幅内为读者提供一个多彩的网络画面，也欢迎各个爱好者论坛或技术论坛、博客的网友，将自己关注的内容推荐给我们，信息可以发送至radio@radio.com.cn。

LED制作特辑

◎温正伟

笔者还记得，多年之前还是学生的时候，刚开始自学电子技术，用74HC14制作了双LED的闪烁电路，虽然只是简简单单的电路，但当LED闪烁起来时，也足让当时的我高兴了半天。时隔多年，当我开始学习51单片机，第一次用89C51让LED闪亮起来时，也同样让我高兴了半天。

2009年11月，笔者参加了一次50km的城际徒步活动，活动在夜晚开始，组织方会发给参加者一个小型的闪光徽章，上有3颗贴片LED和小型钮扣电池，能闪光10个小时左右，别在左臂上起到警示来车的作用，那一夜和众多朋友在公路上度过了快乐的时光。有了以上种种简单的快乐经验，当和编辑老师谈论本期的杂志选题时，我首先想到的就是LED闪烁电路。何不让这种简单的快乐传递给和自己一样爱好电子制作的朋友呢？

LED闪光警示灯

说起发光二极管LED（Light Emitting Diode），电子爱好者是再熟悉不过的了，虽说小小的LED只是一个小小的PN结，但各式各样的LED已占据我们生活的每一个角落——手机背灯、家电指示灯、大街上的LED广告装饰灯，还有现在开始流行的LED照明灯等，无时无刻地出现在我们眼前。想更进一步详细了解LED详情及发展史，可以先看看杜洋先生发表在《无线电》2009年第4期的《LED进化史》一文。

LED闪烁电路有好多，有用NE555制作的，有用74芯片制作的，有三极管制作的，有单片机制作的。现在市场上还有专用的LED闪烁芯片如NXP的PCA9550，它可以用I²C总线编程控制2个LED闪光，其闪光频率和亮度都是编程可调的。另外还有一种内部集成了振荡电路、能自行闪光的LED，有各种颜色选择，也有多种频率。这种LED在尺寸上很有优势，但因这种LED每个都是上电后自行发光的，用多个闪光LED来制作多LED同步闪烁电路是不可能的，而且闪光LED的价格是普通LED的几倍。

本文介绍的制作是利用一个闪光LED作为控制源，通过一只三极管控制多只普通LED实现同步闪光，同时也大大降低了制作的成本。

看看电路如何工作

图1是电路图，电路由1个闪光LED，1个电阻、1个8050三极管和18个普通LED（红或绿）组成。笔者在实际制作中使用的是七彩闪光LED和红色贴片LED，如图2所示。七彩闪光LED里面封装了能分别发红、绿、蓝三种颜色的LED，除了能闪光外，三色光组合还可以发出多种颜色的光。在发不同颜色的光时，LED两极间的压降也不一样，因此流过VD19的电流也不一样，电流经R1分流，VT1的基极得到电流，放大后驱动连接在集电极的VD1~VD18。电路选用贴片8050三

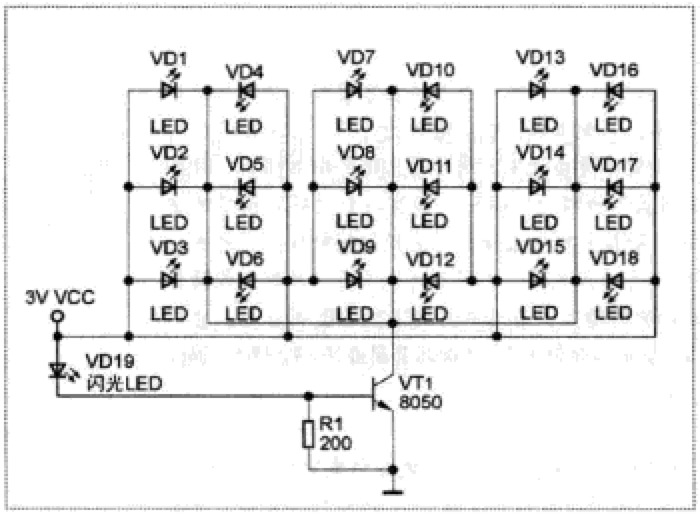


图1 电原理图

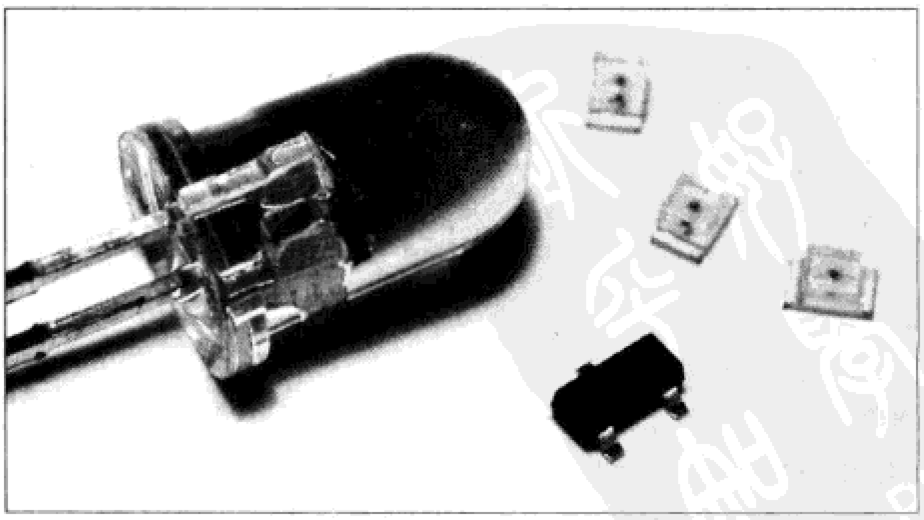


图2 元件

极管，片上标号为J3Y，集电极最大电流为500mA，放大倍数为100~200。使用3V电源，实测流过闪光LED的最大电流值为5mA左右，经过200Ω的R1分流后，VT1的基极得到的电流最大为1.5mA左右，放大后基极输出电流约为150mA，足以驱动18只红色贴片LED发出明亮的光芒。这个电路可以修改电源电压和R1阻值实现驱动蓝、白光LED或驱动更多的LED。只要在三极管电流允许范围内电路就可以扩展更多的LED。使用一颗3V/220mAh的CR2032钮扣电池做电源，实际测试能工作40个小时保持足够的亮度，之后仍能工作几个小时，只是亮度不足了。

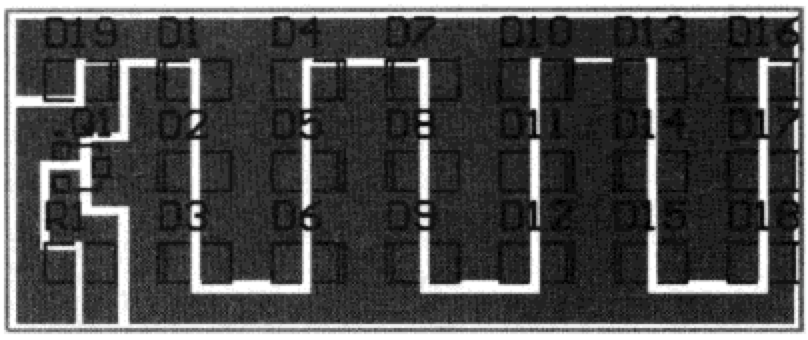


图3 PCB图

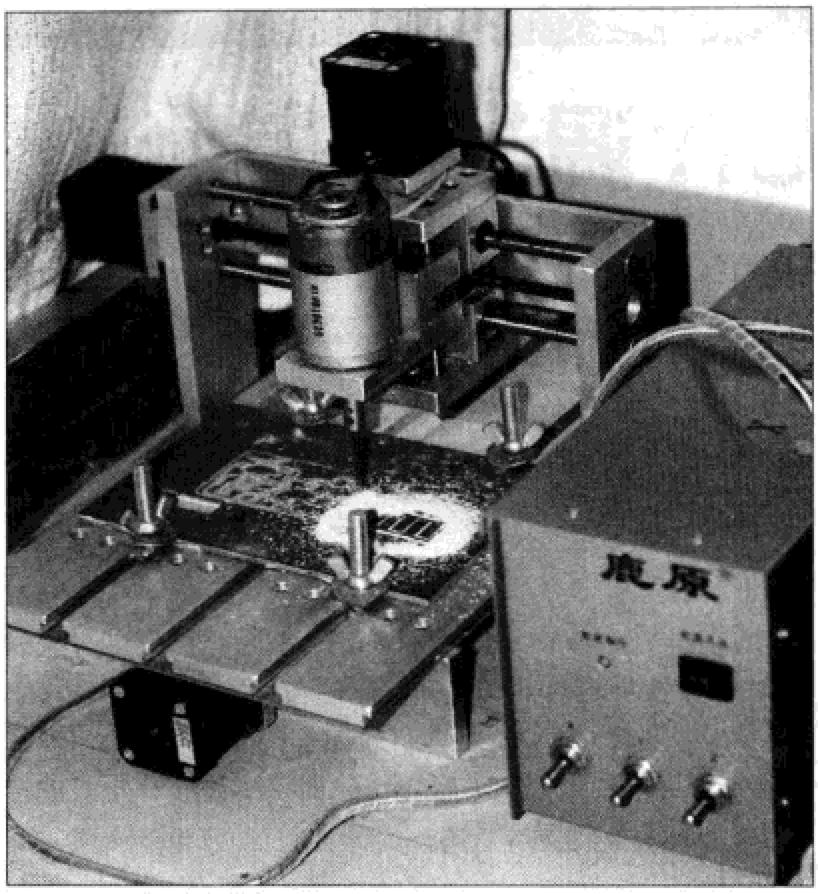


图4 笔者用雕刻机制作的PCB

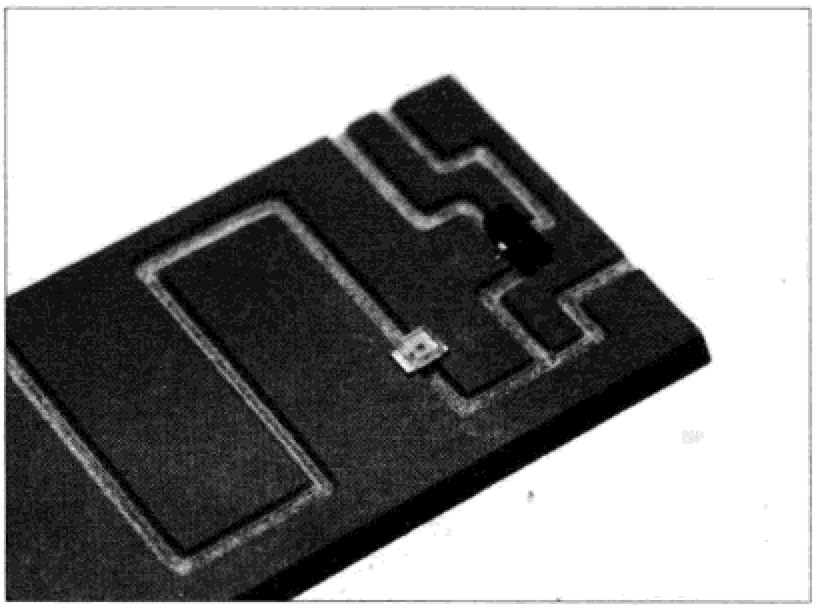


图5 PCB实物

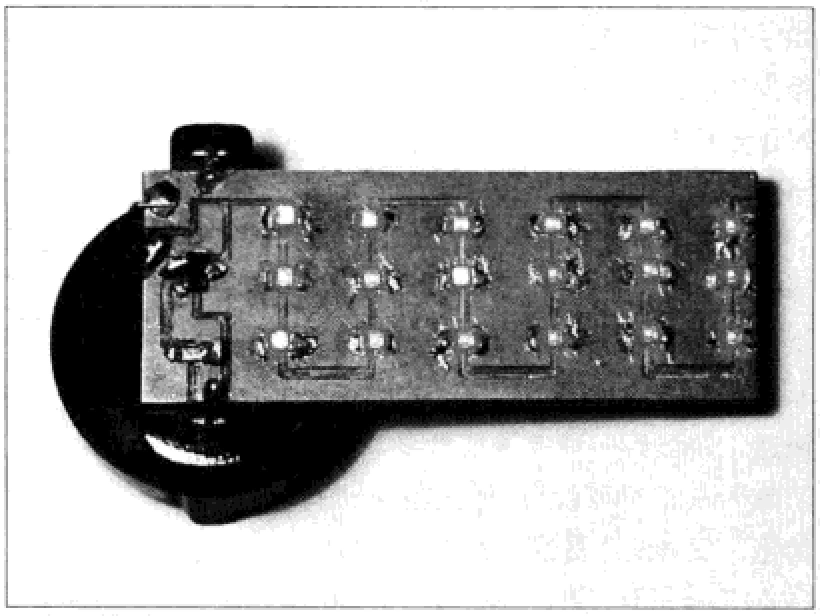


图6 最终的实物图

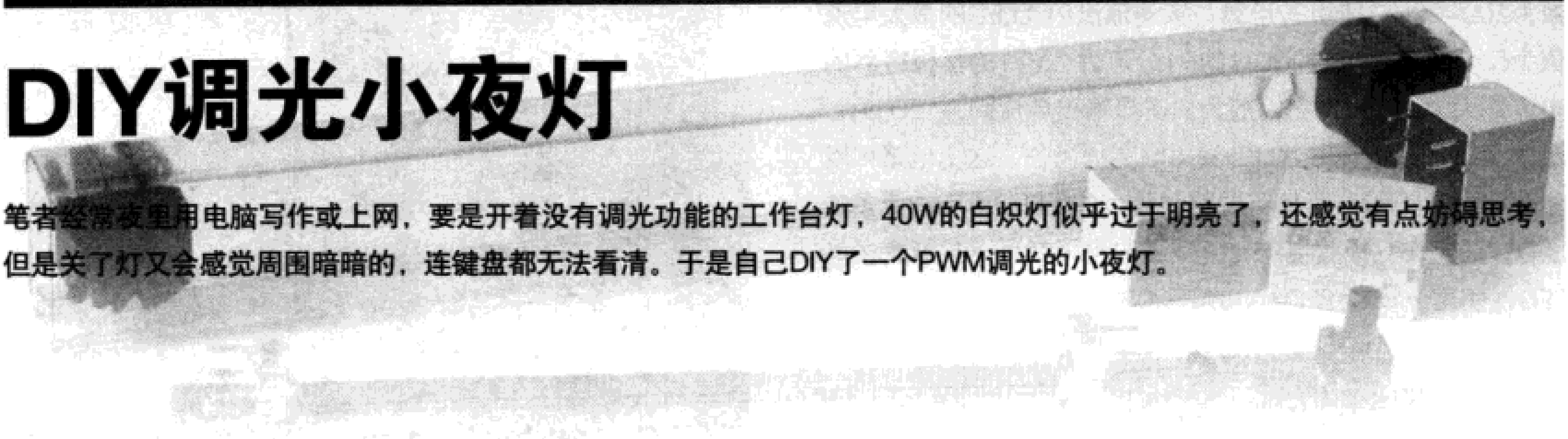
制作过程

业余条件下，为了方便制作，笔者把PCB设计成图3的简单形式。尺寸大约是4.5cm×2cm，能十分方便用手工雕刻或热转印的方式得到这个PCB，笔者则是使用一台如图4所示的简易雕刻机雕刻出这个PCB的，最后的得到PCB效果见图5。本文中制作中使用的PCB是使用小型雕刻机在单面玻纤覆铜板上雕刻而成，因板材及雕刻刀具限制，最小线间隔在0.3mm左右，为了方便业余制作，画板时尽量保留覆铜面，这样可以减少雕刻时间，同时没有钻过孔，也没有刷阻焊漆，使制作达到最简化。虽然这样制作的PCB比不上成品印制电路板的精度和品质，但是胜在方便快捷，在一些业余制作简单电路时还是十分好用的。这个电路无需调试，焊接完成就可以了。要注意的是，贴片LED的正负极区分，负极一般有一绿色线或点。图6是最终的实物图。

笔者打算把这个电路安装在自行车车尾做闪光车尾灯。只要改变LED的安装形式，也可以制作各种警示灯、装修灯等。

LED制作特辑

◎温正伟



DIY调光小夜灯

笔者经常夜里用电脑写作或上网，要是开着没有调光功能的工作台灯，40W的白炽灯似乎过于明亮了，还感觉有点妨碍思考，但是关了灯又会感觉周围暗暗的，连键盘都无法看清。于是自己DIY了一个PWM调光的小夜灯。

调光小夜灯的制作大家并不陌生，笔者采用了脉冲宽度调制方法来制作这个电路，仅用了不到10个元器件，该电路为长按开关电路，具有8级调光、低功耗等特点，可以用作夜晚的弱光照明、设备的背光、小功率调光手电等。不过笔者提醒一下，对于年少的小朋友，夜里看书、玩电脑最好还是打开台灯或房间的吸顶灯，足够明亮的光线才不会影响视力。

先来了解一下PWM，即脉冲宽度调制。这是一种利用数字输出对模拟电路进行控制的十分有效的技术，非常广泛地应用到了功率控制、电机调速、通信等各种电子技术领域中。简单来说，PWM就是把模拟信号进行量化，使其变为数字编码方便调控。PWM信号只有“高”和“低”，也可以看作“1”和“0”这两个二进制数字，在直流供电中的任何时刻只表示“通”与“断”。图1是两种占空比信号，分别是占空比为10%和90%的PWM输出。假设信号供电电源为10V，方波以一定频率进行10%占空比输出时，信号10%的时间是通的，90%的时间是断的，输出信号则对应一个电压幅值为1V的模拟信号。如果占空比为100%时，方波则变为高电平，则对应为10V的模拟信号。

可能你还是没搞明白PWM信号到底指什么，那就看看图2的例子。图2是一个电灯的控制电路，也是一个可以用PWM控制的电路，如果电池电压为12V，把开关按下50ms，灯泡就亮50ms，这段时间内灯泡得到的电压12V。下一个50ms断开开关，这时灯泡的电压为0V，1s内进行10次这样开关，灯泡亮度看起来就像用6V电压供电一样，而6V正是12V的50%，这种情况就是调制频率为10Hz、占空比为50%的PWM。

同样的占空比，调制频率越低，负载效率就越低，可以设想一下，10Hz就是灯泡不断亮50ms灭50ms，这样，人眼看起来是有点闪烁的。如果

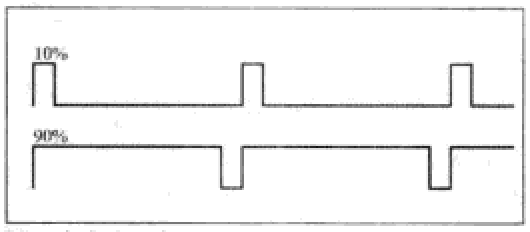


图1 占空比示意图

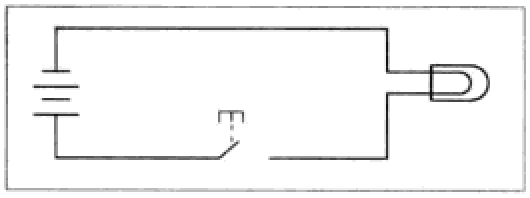


图2 实例说明图

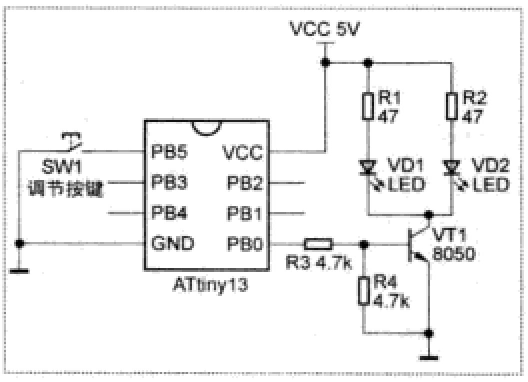


图3 电路图

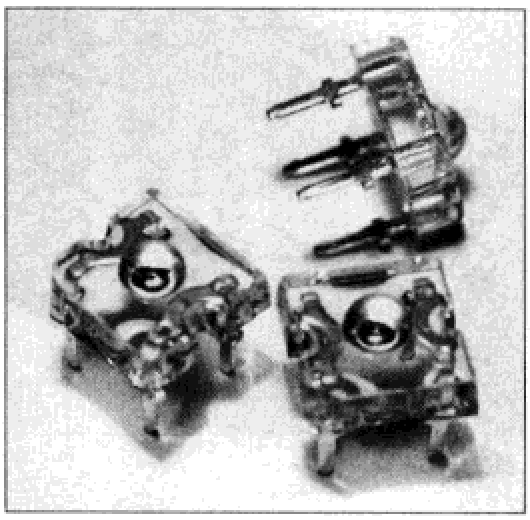


图4 “食人鱼”白光LED

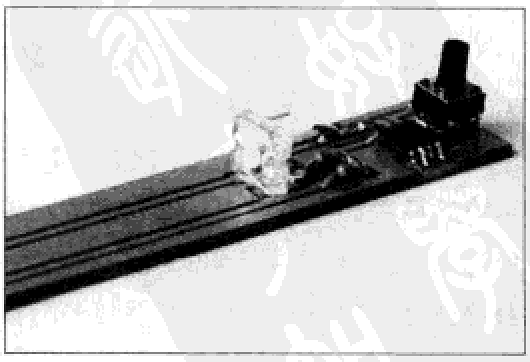


图5 电路局部图

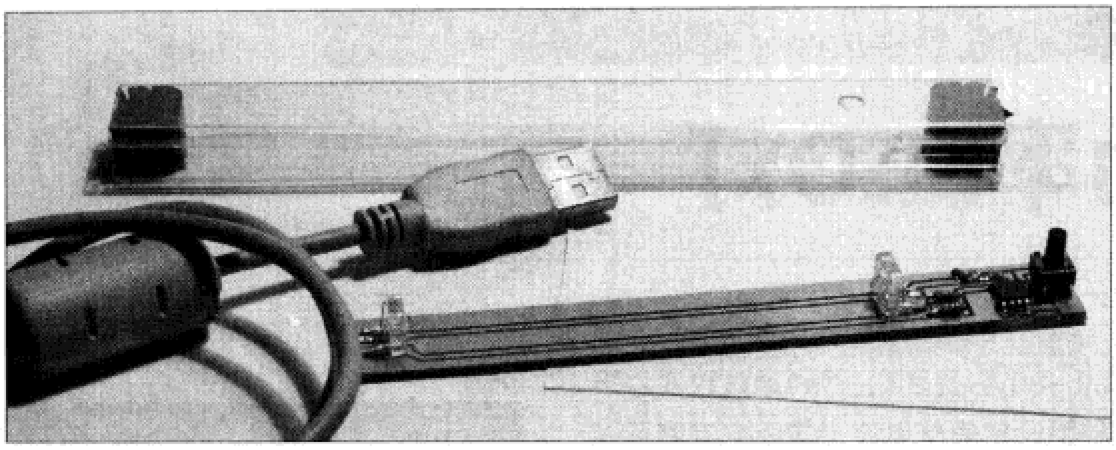


图6 安装配件

图7 夜晚的发光效果

图8 贴上美纹纸的效果

在一个周期内把12V供电灯泡点亮5s然后再断开5s，这样就是0.1Hz，这时的占空比依然是50%，但是所得到的效果就更差了，光亮度看起来就是5s全亮，然后紧接着5s全暗，根本就不可能相当于12V的50%（6V）供电的效果了。要想取得像调光灯一样的效果，就需要把调制频率提高，通断循环周期与负载对开关状态变化的响应时间相比必须足够短。大多数负载的PWM应用的调制频率是1 kHz~200kHz。

了解了PWM的基本原理，我们就可以用硬件电路去实现了。

笔者在这个制作里选用了ATMEL公司的Attiny13单片机生成PWM信号，它是一个只有8引脚的低功耗AVR单片机，除了基本的单片机功能外，还有一个具有8位PWM功能的定时器，能在PB0（OC0A）、PB1（OC0B）两引脚输出2路独立的PWM信号。本制作的电路图如图3所示。

制作中用到了两颗“食人鱼”白光LED（eagle-eye led或piranha LED），其外形像食人鱼，故得其名，所封装的支架为4引脚，提高了散热性能，还具有比较大的发光角度，一般为120°。笔者选用的是5mm的白光“食人鱼”，标称导通电压约为3.6V，电流30mA。制作中直接使用电脑的USB口取电，电压为5V，PWM信号从PB0输出，通过R3、R4使VT1基极得到电流，从而对VT1发射极电流进行控制，总电流控制在最大60mA左右。R1、R2则起到限流作用。SW1为功能按键。ATtiny13使用内部9.6MHz的RC振荡电路不对系统时钟进行8分频，使其工作在9.6MHz的频率中，我们使用其内部复位电路，使外围电路达到了最简化。

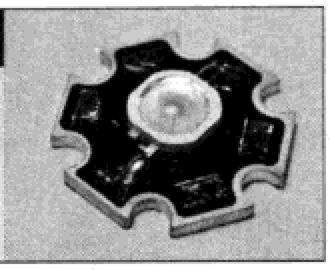
笔者使用小型雕刻机制作好PCB后，焊接电路，效果如图5所示。笔者用包装小型继电器的透明塑料包装条来安装电路，见图6。用小型雕刻机将电路板切割成合适的大小，钻好安装孔，将电路安装进塑料条中。该电路使用USB接口线从电脑取得电源。使用USBASP工具将固件程序pwmled.hex烧录进入芯片中。电路焊接无误后，无需调试，上电后PWM输出12.5%的占空比，点亮LED总电流约为10mA，每短按一次按键时，占空比递增12.5%，直到100%输出电流约为60mA，再短按时又回到12.5%占空比，一共有8个亮度挡位。长按3s则可以关闭和点亮LED。图7是安装完成后的发光效果，为了使光线柔和，笔者在塑料条上贴了一层美纹纸，美观而不刺眼。

程序编写使用到C语言，由于Attiny13的PWM是由硬件方式产生，只需要更改OCR0A寄存器的值，就可以更改PWM的占空比，所以在程序编写上显得极为简单，只需要编写一个按键处理程序就可以了，然后把按键的次数对应转换为定时器PWM设定值，写入到OCR0A寄存器中。OCR0A为8位寄存器，也就是说它可以把一个方波周期分成256份，每增加一个值则占空比增加约为0.4%。本制作相关视频、电路图及程序可以到无线电杂志网站www.radio.com.cn下载。

LED制作特辑

◎温正伟

试做简易大功率LED灯



大功率LED因其色彩多、体积小、寿命长和环保等特性已成为新兴绿色光源的生力军。因其功率比普通的小LED要大得多，电流大了，发热量也就上来了。现在市场上售卖1W及以上的大功率LED都需要配上不同的散热器才可以工作，不然就会很快烧毁。笔者从市场购得一些1W的白光LED，已配上了铝基片散热器（用于散热和连接LED），工作电压3~4V，电流约在300mA，每只零售价要10元左右，是普通LED的数十倍。实测时，笔者发现发光量比想像的大得多，打算用两只来制作一个露台灯。

大功率LED需要一个恒流源电路来驱动一只或多只LED。在购买LED的同时，笔者还在市场上买了由泉芯生产的QX5241大功率LED驱动芯片，QX5241是一款降压、恒流、高效率的高亮度LED驱动器。输入电压范围5.5~36V，见图1。可以通过改变外接电阻设定输出电流，最高电流值可以高达2A，还具有向DIN引脚输入PWM信号实现辉度控制的功能。而且零售价格只有2元左右，确实是爱好者制作大功率LED光源理想的驱动芯片之一。

QX5241芯片只有6个引脚，采用SOT23封装形式，体积十分小巧。引脚说明如附表所示。

笔者在网上取得了一份DOME电路板的资料，有典型应用电路图、芯片说明以及PCB图等说明文档。根据这份资料，结合自己手头已有的元件，笔者将厂家提供的应用电路修改了一下，如图2所示。制作出来的实际电路如图3所示。

QX5241要求输入电压要比LED串联的总压降大2V，笔者要驱动2颗串接的1W白光LED，其压降约为7V，也就是要求输入电压为9V。续流二极管使用了IN5819。1W的LED工作电流在300mA之内，根据公式$I_{LED}\times R1=0.2$，R1选用0.68Ω的高精密电阻，可以设定输出电流恒定为290mA。N沟道场效应管选用IRLL2705，耐压55V，最大电流3.8A。电路焊接完成无需调试即可工作。

实际使用中，笔者发现，单靠LED上的铝散热基板散热，散热板的温度还是有点高，最好加装更大一些的散热器，另外，加装专用的聚光透镜也可以改善LED的照射角度。QX5241最大可以输入20kHz的PMW信号，如果把前一篇LED制作中的ATtiny13程序修改一下，其8分频系统时钟熔丝位把输出的PMW信号变成4.7kHz，再连接到QX5241的DIN输入端就可以实现大功率LED的调光。如果使用红、黄、绿LED三只，结合3组调光PWM电路，可以获得多种色彩的光源了。

附表

引脚编号	引脚名称	功能说明
1	CSN	电流检测
2	DIN	辉度控制
3	VIN	电源输入
4	VCC	LDO输出
5	DRV	功率管栅极驱动
6	VSS	接地

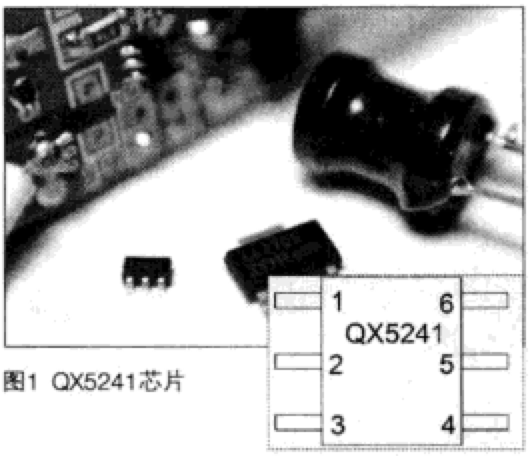


图1 QX5241芯片

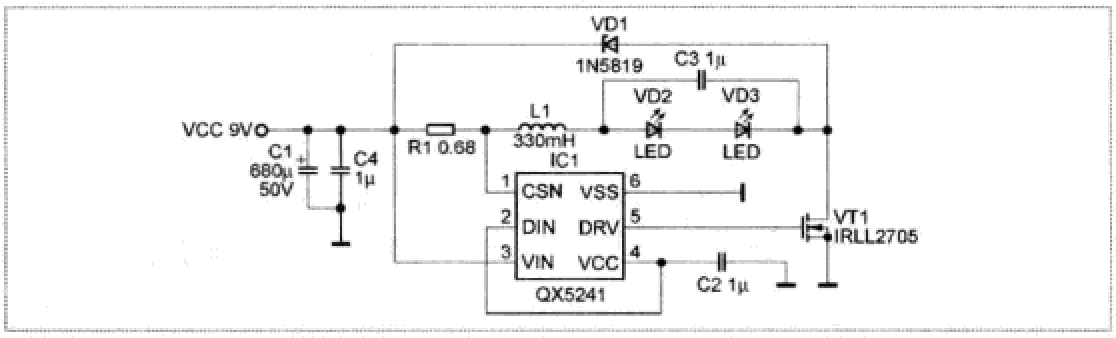


图2 电路图

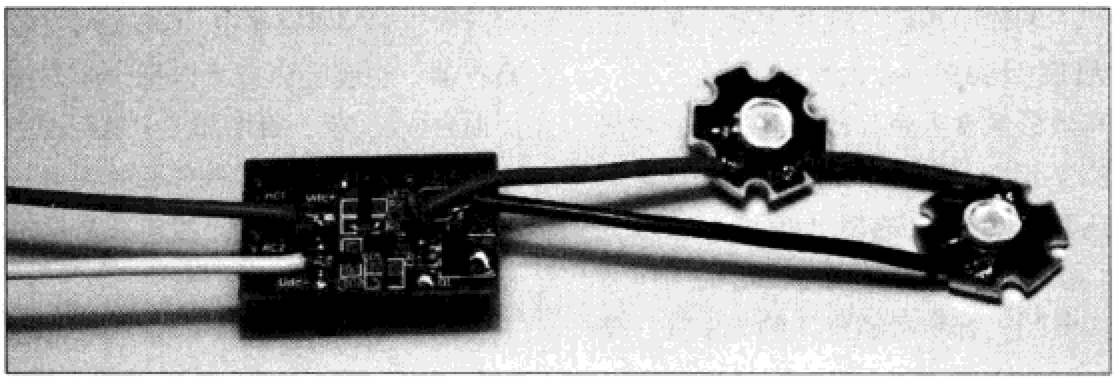


图3 实物电路

新器件试用台

用EMT7012设计一款便携高效的MP3外置功放

◎任杰

笔者不喜欢成天挂着耳塞，所以一直想做一个MP3外置放大器。音频功放不是什么新奇的东西，现在模块化的芯片多得不胜枚举，但经过仔细一搜索，却没有找到符合自己要求的成品。作为MP3的外放，对输出功率要求不高，能有1W左右就足够了。笔者是学生，没条件追求那些发烧级的配置，声音耐听就行。另外，希望做出来的功放便于携带，所以最好能用电池供电，因此，这就提出另外一个要求，那就是单电源供电，并且有较高的效率。

提到以上的要求，笔者第一时间想到的是TDA2822，它外围电路简单，电源电压范围宽，失真小。从磁带放音机到有源音箱，我们至今仍然能经常见到这款“古老”芯片的身影。但是笔者对它没多少好感，这种AB类的功放，如果用单电源供电，除非接成BTL形式，否则少不了两个大的输出耦合电容，这不仅增大了体积，也严重影响了低频特性。还有更要命的，AB类功放的实际效率，充其量也就百分之三四十，对电池供电的系统来说，实在是浪费。

提到效率，AB类功放肯定是难以胜任了，那目前流行的D类功放，自然成了不二的选择。正在笔者四处搜罗资料的时候，偶然了解到了一块国产的D类功放芯片EMT7012，北京东微世纪科技有限公司生产，初步阅读资料，得到主要特性如下：

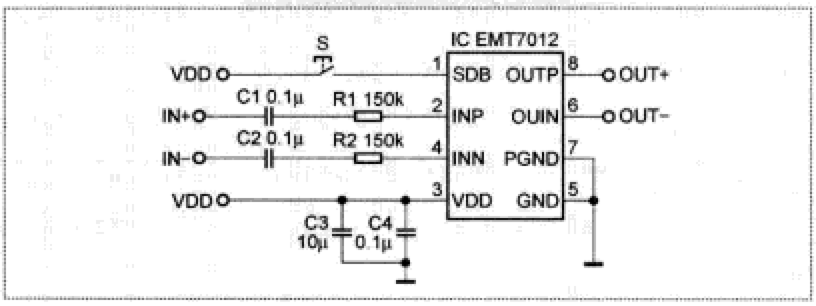


图1 EMT7012典型应用原理图

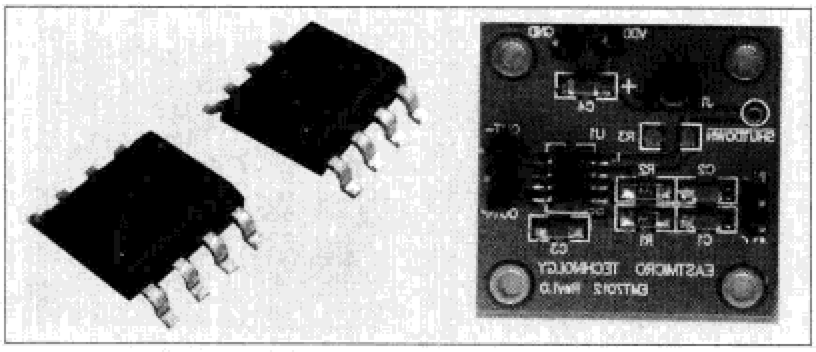


图2 EMT7012的样片和测试板

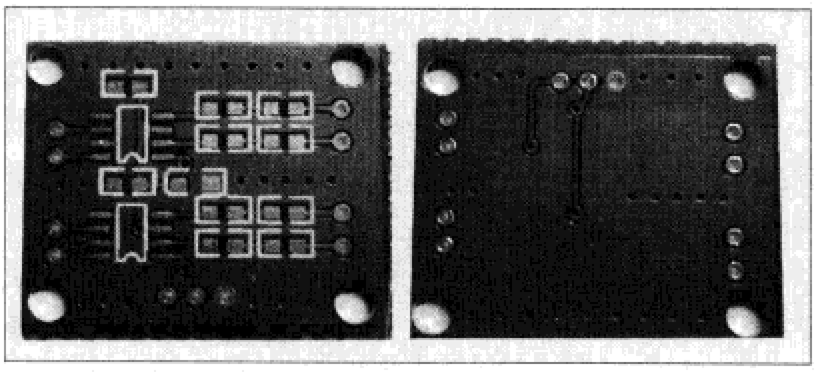


图3 笔者设计好的电路板

◎工作电压范围：2.7～5.5V

◎最大输出功率：1.2W（8Ω负载，总谐波失真1%时）

◎无需外接LC低通滤波器

◎效率大于85%（8Ω负载）

◎开机或接通电源时无爆破音

EMT7012的外围电路极其简单（见图1），并且采用的是SOP-8或SSOP-8的封装，比较适合手工焊接。在此之前，笔者考虑过MAXIM公司的一些D类功放芯片，但那些基本上采用的是无引脚的封装，尽管性能优秀，使用起来却有点无从下手。笔者马上在东微的网站上申请了样片。出乎意料地快，第三天就收到了样片，随样片寄过来的还有评估板，见图2。

笔者迫不及待地给评估板通上电，接上一个小扬声器。将小扬声器贴在耳朵上，没有听到任何杂音。笔者随即输入MP3音乐信号，扬声器里传出清晰的音乐声，只是由于预设增益较小，声音不大。不用考虑了，就选它了！

当然，着手制作之前，还得把它的数据手册细读一遍。从图1的应用电路来看，电路简单得不能再简单了，2、4脚为差分输入，6、8脚为全桥输出，1脚为使能端，高电平有效。值得注意的是，按图中的取值，功放的电压增益为2V/V（内部反馈电阻300kΩ），而使用MP3播放器作音源，增益应该在10～20V/V较合适，也就是输入电阻R1、R2的阻值在15～30kΩ选取，数据手册给出的输入电阻最小值为15kΩ，笔者选的是20kΩ，即电压增益为15V/V。

输入电阻阻值确定后，输入耦合电容的容量需要作

一定调整。因为EMT7012的输入阻抗不是很大（典型值为170kΩ），为了保证足够低的下限频率，耦合电容容量有必要适当增大。笔者在这里将它增大为1μF。另外，由于EMT7012采用的是差分式输入，而一般MP3输出音频信号为共地单端输出，所以，制作时将其中一个输入端接地即可，但耦合电容不能省。

由于电路十分简单，元件封装也很单一，笔者没有根据原理图生成PCB，直接在PCB文件下画电路了。最后做好的电路板见图3。除了一个3216封装的钽电解，其余容阻器均为0805封装，无极电容全部为瓷片电容。图中将两个声道做到一块板子上，每片芯片旁边单独加上一个0.1μF的退耦电容，为了方便控制，单独将使能端引出。焊好的板子见图4，由于一开始没有设计音频输入接口，只好将插座焊接在板子背面。

接下来就是通电试听了。笔者没有音箱，只有两个银笛的小全频扬声器，阻抗 8Ω，标称功率 3W(见图 5)，个人使用证明，它的音色还是相当不错的。通上 5V 电源，将使能端接高电平，扬声器里依然十分安静，输入 MP3 音乐信号，马上传出清澈、悠扬的音乐声。加大输入音量到最大不失真，声音足以震撼整个宿舍，在持续播放的情况下，芯片没有丝毫发热的感觉，D 类功放的高效并非浪得虚名。图 6 为笔者使用这个小功放时的实拍图片。

按照笔者上面的描述，读者可能觉得制作这么一个功放实在是太简单了。但其实并不如此，电路制作的过程中有些细节不加注意，最终是难以成功的。笔者就以自己的经历简单介绍一下制作的要点。

一开始笔者用的是单面板，以为D类功放的电磁干扰问题在布线上稍加注意或者最后做个大面积接地处理就差不多了，但事实却全然不是这样。等笔者用单面板做出来后，发现在不加输入的情况下，扬声器里的高频“嗞嗞”声十分明显，在小音量输出的情况下，几乎将音乐信号掩盖掉了。图7就是笔者最初用单面板制作的照片。所以，对于开关频率超过200kHz，又没有低通滤波器的D类功放，电磁干扰问题确实有必要慎重考虑，双面板比单面板的屏蔽作用显然要好得多。

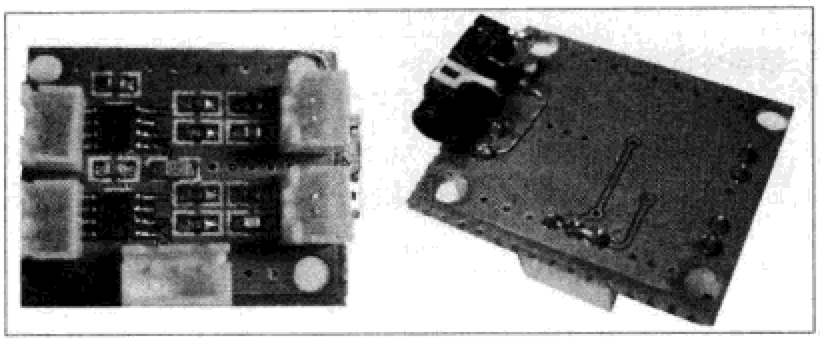


图4 焊接好的电路板

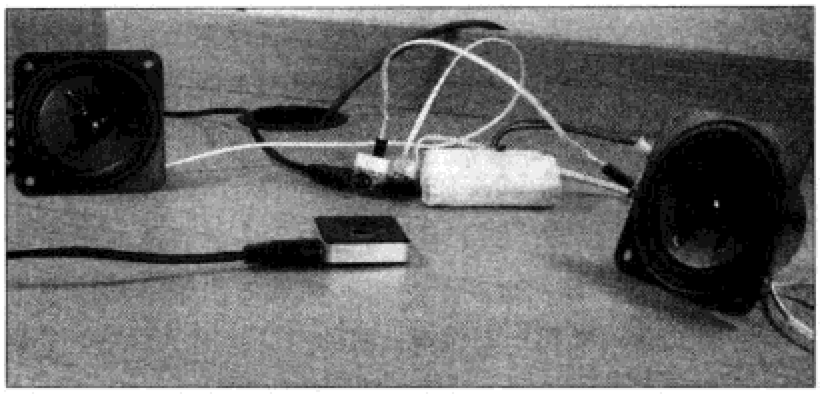


图6 使用中的小功放

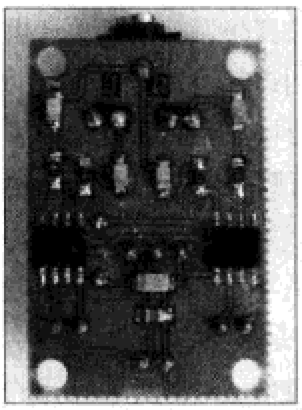


图7 之前单面板制作的小板使用起来不理想

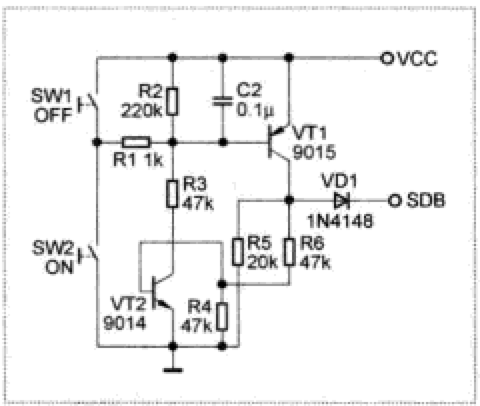


图8 轻触式电子开关原理图

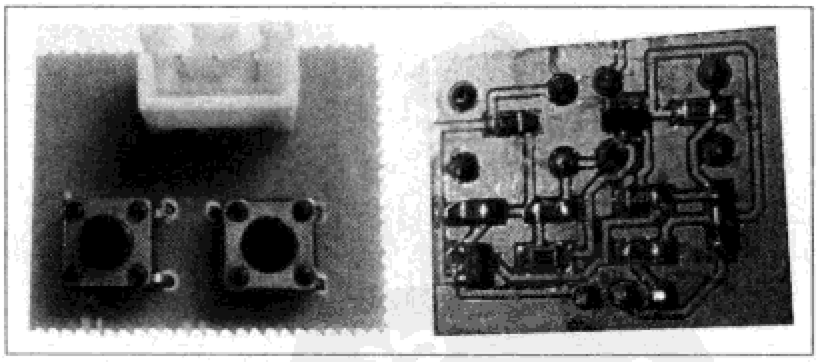


图9 做好的轻触式电子开关

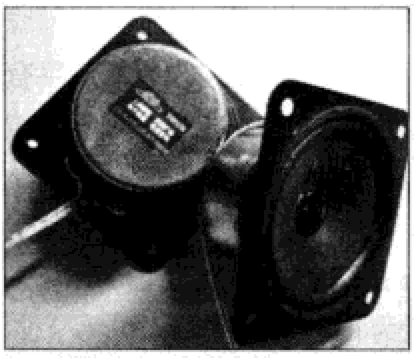


图5 银笛的小全频扬声器

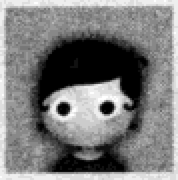
还有要注意供电电源。如果对于用TDA2822一类的AB类功放来说，随便拿个手机充电器用的5V电源供电，也听不出很明显的噪声。而EMT7012却不一样，笔者用变压器输出交流经整流滤波和线性稳压后给它供电，或者用电池经过笔者自制的MAX5035开关稳压器稳压后给它供电，结果在扬声器中都出现了较为明显的噪声，只有采用电池直接供电或电池经过线性稳压器稳压后供电才能保证扬声器里的安静。由此可见，这款D类功放对电源的要求也是比较苛刻的。

最后，读者如果有兴趣，可以按图8的电路做一个轻触式电子开关，利用控制芯片的一脚来实现开关机操作，笔者做好的开关实物如图9所示。

<< 上一主题 | 下一主题 >>　118 1 2 3 4 5 6 7 8 >>　⇒回 复　✧新 帖

深入探讨LM3886电路

收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印

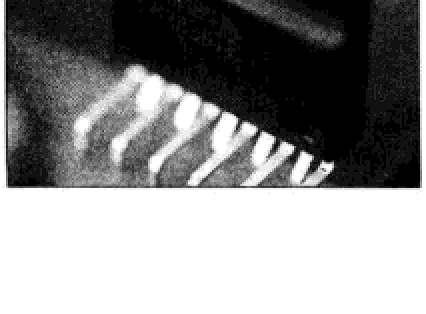


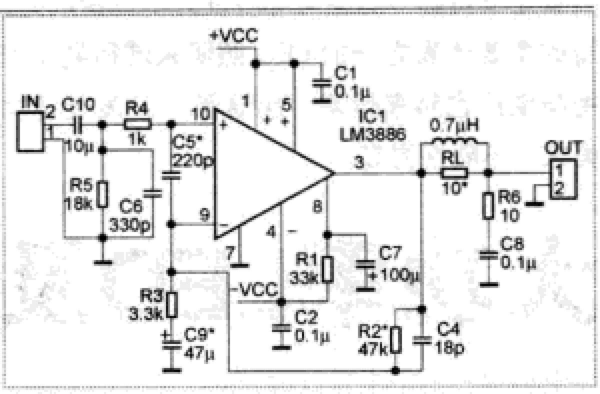
整理：草音

加入日期：2010-01-18

帖子：666

LM3886是单声道、中功率、高性能音频功放IC，是美国国家半导体(NS)公司的“序曲”(Overture)音频功放系列具有代表性的IC之一。它采用11脚TO-220封装，并具有输入静音功能，适合用作小型有源音箱、环绕声放大器和高保真立体声电视机等的功放。此IC的最大特点是自身保护功能齐全，无须外接各种保护电路，它内含NS公司研制的SPIKe(自身瞬时温度)保护电路，对输出级晶体管的安全工作区(SOA)进行动态检测与保护，从而全面实现过压、欠压、过载、输出短路(包括短路到地与短路到电源)、热失控和瞬时温度冲击等多种保护功能。爱好者用这款IC制作和设计的电路很多。本期带读者了解一下来自中国音响DIY的讨论。





(wsf001001) 坛里哈罗大侠出了一套很不错的LM3886PCB，其中的介绍非常适合我等初学者，特此摘录下来。见图1，C1、C2为电源退耦电容，取值0.01～1μF之间，不同大小及品牌对声音有点影响，一般取值0.1μF，然后随便抓随便装，位置放得下即可。C7、R1组成静音电路，容量和电阻的值决定了静音时间长短，电容可取10～100μF，电阻可取10～100kHz，取值越大静音时间越长，一般取图中参数即可，对音质无影响，注意耐压应大于50V。C8、R6组成所谓的“茹贝尔网络”，配合输出电感起稳定电路的作用，C8一般取值0.01～0.22μF，R6一般取1～22Ω，由电容的取值大小以及电阻的选用功率大小可看出电路的稳定情况，一般用得越大，则说明电路存在稳定性问题的可能性越大。本处选用0.01μF和1/4W/10Ω，实测过，不装也没问题，装上为求心安，毕竟不怕一万，只怕万一。RL为输出电感和输出电阻并联组成，起隔离扬声器反向电动势作用，电感及电阻取值会对声音取向有小的影响，此处用1.5mm漆包线绕15～20圈，成为直径6mm左右的电感，中间穿一个10～22Ω/1W的电阻。R2、R3两个电阻决定了电路的闭环增益，即放大倍数，其值为R2/R3+1，R2一般取33～56kΩ，R3一般取1～3.3kΩ，不同搭配对声音影响比较大，本处选47kΩ、3.3kΩ，放大倍数约为15.5倍。如前级输出电平较低，可适当减小R3的值或增大R2的值，放大倍数建议不要超过20倍。C9为反馈电容，其品牌以及容量对电路的声音取向有相当大的影响，最好用音频专用无极型的，一般取值在10～100μF，容量越大，则低频下潜会越深，但高频会相对变暗(不同电容会有不同表现，愿意折腾的就换这个电容玩了)，反之表现就相反。本处取值47μF。C4为补偿电容，方波响应的上升沿过冲主要靠这个电容来调整，对高音影响相当的大，调整不到位则整套系统会产生不耐听的感觉。本处取值18pF时已经可以完美地消除过冲，实际安装时在15～22pF取值……

(ljm_ljm) 我认为反馈网络的阻值取得不合理，C4电容位置不合理．超前补偿电容这么大可以消除振铃，但是会在大功率输出时产生不稳定．最好加个电阻防止。而且太大会降低SR，还有C9反馈电容的极性应该反过来。

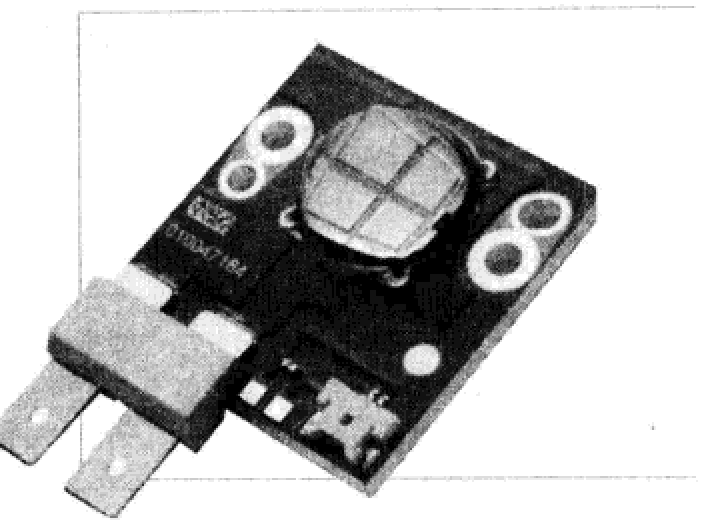
(Aeon) 反馈电阻的确需要考量一下，如果单纯是为了使用小容量的电容而用这个参数，不值得。

(Haluo) ljm_ljm兄，请指教一下反馈网络如何取值才能合理？我这么取值的原因，一是手头正好有这些电阻，二是考虑可以直流化使用，照图的参数直接直流化的话，中点电压基本可以控制在50mV以内。C4位置不合理，是说在PCB上位置不合理还是在原理图上不合理？是要接在3886同相输入端与地之间吗？超前补偿电容在这里，在接近极限输出功率时（大概接近60W了），输出波形的确是会发生变化，基本上没谁经常开在这么大功率吧？而且在并联的时候，完全可以消除这个现象，加上考虑走线和PCB大小，所以没有接ljm兄说的这只电阻。另，C9我给的建议是音频专用无极型的。至于有极型的嘛，可以实际测量一下静态中点电压是偏正还是偏负，根据实际情况装上即可。

(ljm_ljm) 互相交流没什么，网上谈不出声音，主观性太强．只能谈谈电路。反馈网络如果在不改变反馈量和深度的前提下应该改成18kΩ/1.2 kΩ，总闭环增益不变，中点不会在50mV以内，应该是在5mV以内才正常。这样改变下来，噪声是肯定要减少很多的，中点电压也会小很多。实际上这个值在总体上感觉仍不是最佳的，因为负反馈深度比较深，功放整体稳定性还不够好，只好加大超前补偿电容来降低自激风险，但是SR又变小了。C4取在1kΩ的前面不合理，建议放在后面形成一个滤波器。超前补偿已经说过了，3886输入是NPN单差分，所以反馈电容的正极应该接地。

(Ziv) 原理图中的18pF和220pF两只电容，是起限制带宽的作用，限制了带宽，也降低了高频失真，算不上是妙方，要注意220p的应用！配不同的前级要调整参数，否则前级加入，影响到原计算好的带宽变化。变化过大将是一种前级，一个“声音”，做前后级合并式，最好不要这颗电容，将限制带宽的功能放在前级上面做，这才是深入探讨和“妙方”。Ⓦ

随着建设资源节约型与环境友好型社会成为当今社会的主要发展方向，作为节能减排的重要代表之一的 LED 照明领域得到了非常大的发展，LED 在各行各业中的应用与推广也越来越多。伴随着 LED 发光体功率的不断升级，LED 对其驱动电路的要求也不断在提高。



大功率LED及其驱动电路

◎宋思源

LED在发光效率与寿命两大方面拥有着非常突出的优势。

首先是发光效率高，即相同电流情况下，能够更多地将电能转化为光能，并能够以更小的能耗代价来提供相同的亮度需求。其次是使用寿命长。现在大功率白光LED在正常工作环境下能够保证10 000小时的寿命，远远大于其他传统照明方式。

作为三大 LED 厂商之一的 CREE 公司已积累了超过 20 000 小时的工作数据。Cree 基于 ASSIST 方法推断 LED 工作寿命，在 LED 接合点温度不超过 80℃ 的情况下，Cree 预测 X-Lamp LED 在使用 50 000 小时后，流明维持率平均达到 70%（见图 1），即其寿命长达 50 000 小时。若应用于正常照明，甚至可以使用几十年不需要更换。这是传统照明方式无法比拟的。但大功率 LED 相比传统的照明设备，对其驱动电路是有一定要求的，下面，笔者简单为您介绍一下大功率 LED 对驱动电路的要求。

LED的寿命表现为光衰，也就是随着时间的推移，亮度越来越低，直至熄灭，这里通常把LED的寿命定义为亮度衰减30%的时间。

大功率LED发光体需要的是恒定的直流电源，只有这样才能够保证其长期稳定有效工作。不稳定的电路除不能够提供稳定的光线输出外，还会影响LED正常使用寿命，并加速LED光衰。评价一款LED产品，除最重要的发光体外，驱动电路的性能同样是非常重要的指标。

由于LED在现阶段相对来说概念还比较新，行业应用中并没有完善的标准，同时由于LED发光体本身的直流驱动与电压敏感等特性，系统化地了解LED驱动电路非常有必要。在大功率LED驱动电路的应用上，在作为LED照明领域先进技术代表的大功率LED手电的应用相对就要普遍与广泛得多了，本文以这方面的具体应用为例，带读者全面了解目前大功率LED驱动电路的典型应用方案。

LED 驱动电路的主要作用就是将电源所提供的电压转为 LED 能够正常使用的电压，并且保证稳定的电流。对于多颗大功率 LED 驱动，每颗独立采用驱动电路的成本较高，一般多采用数颗串联使用。为什么多采用串联而非并联方式来使用 LED 呢？答案是，LED 的等级是根据相同电流下所发出光线的多少来区分的，串联使用可以通过选择同等级的 LED 来使得多颗 LED 平衡发光，而 LED 二极管特性的正向压降（正向压降值称为 V_F 值）一般并不会标示出来，若并联使用，一般无法保证多颗 LED 能够平衡发光，同时低电压、高电流电路相对来说，技术要求较高，实现 LED 并联平衡发光更困难些。所以，电路同时驱动多颗 LED 多采用串联方式进行工作。

驱动电路根据具体的工作方式可以分作线性驱动电路和PWM开关电路两大类。线性电路是降压式的，要求输入电压必须要高出所设计的输出电压。PWM开关电路则可以通过不同的拓扑结构来分别实现升、降压工作方式。无论是线性电源还是开关电源，都需要一个闭环负反馈来保证输出的恒定。根据采样信号位置的不同，又可分为定电压（恒压）和定电流（恒流）两种模式。由于LED对电压敏感（零点几伏的电压变化就能够引起很大的电流变化），并且不同LED在通过相同电流时，其正向压降也不尽相同，因此一般采用定电流模式来进行检测。

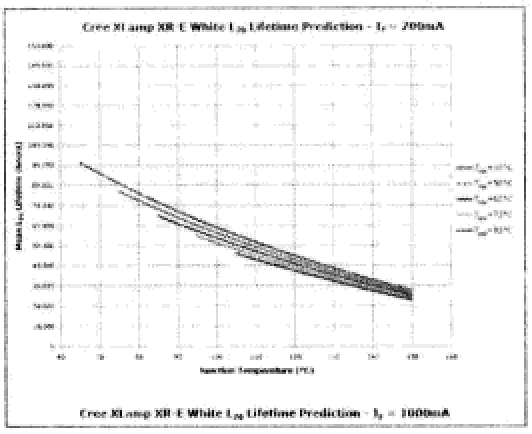


图1 Cree公司公布的流明维持率降至70%的时间与温度曲线

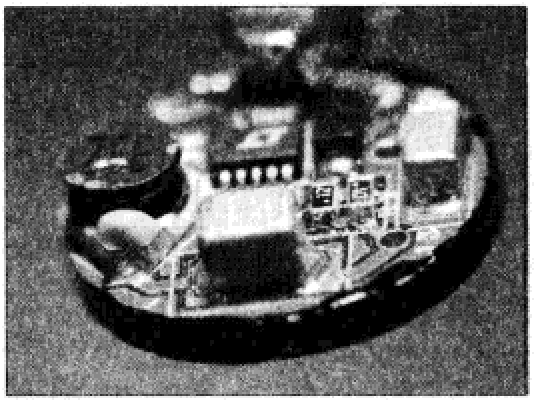


图2 照明用大功率LED手电驱动电路

7款典型大功率LED驱动电路

◎宋思源

本文中，我们结合一些具体芯片，由浅入深地举例介绍7款LED驱动电路的典型应用。

经典的AMC 7135电路
——线性降压方式

提到LED驱动，就必须要讲一下AMC7135芯片，该芯片的简单降压驱动电路图如图1所示，其实物图如图2所示。

我们先来了解一下 AMC7135 芯片的工作原理。如图 3 所示，7135 芯片共有 3 个功能引脚。VDD 和 GND 之间是内部电压基准和恒流控制电路，这部分的电路工作电压范围为 2.7~ 6V。OUT 和 GND 之间是内部调整管，OUT 是调整管的漏极，漏极电位受内部控制电路的控制，调整管的源极接到内部控制电路的电流取样元件上，用以反馈电流。控制电路根据反馈的取样电压来控制调整管的导通。调整管的漏极对 GND 的电压时有变化，但是无论怎样变化，最终的电流是恒定的。简单来讲，内部调整管的作用可以理解为，在OUT和GND之间自动接了个可调电阻。

可以说，采用7135芯片的电路是最简单、最稳定、也是最经典的电路，电路无须外接元件。无电感，电路整体的耐撞击性能非常好。以恒流降压方式进行工作，单颗7135能够以350mA恒定电流输出来驱动LED，使其工作功率约1W。若需要更大的功率输出，可通过多颗7135芯片并联达到。芯片采用SOT-89与TO-252封装，其中SOT-89封装非常小巧。其工作电压是2.7~6V，但是当其驱动的LED的V_F值高于其输入电压时，电路则无法正常工作了。该电路特性为线性限流电路，并且若输入输出压差较大，7135会发热并且电路效率不高。可以说，AMC7135芯片是最适合输入、输出压差不大的LED驱动电路应用。

图4为采用3颗AMC7135芯片的大功率LED驱动电路实物图。电路中所应用的芯片是L7135芯片，具有温度保护和短路保护功能，芯片单价2元左右，有很高的性价比。

当然这里所介绍的AMC7135只是这一类电路的一个典型应用，还有很多其他的芯片可供选择，比如采用TO-

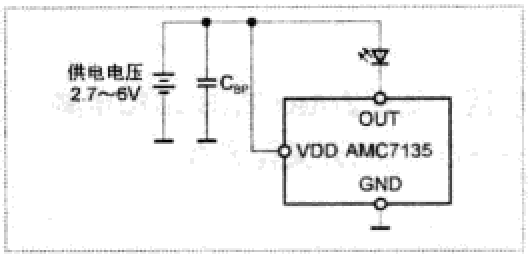


图1 AMC7135芯片的简单降压驱动电路图

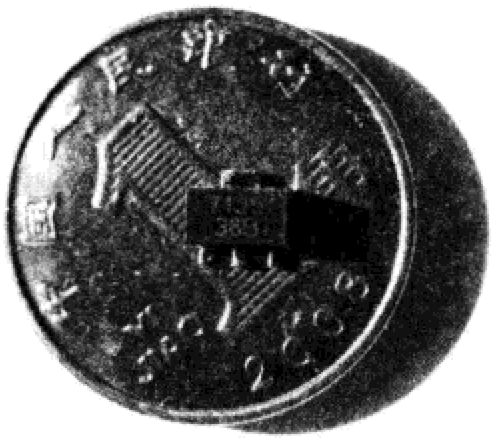


图2 AMC7135芯片实物图

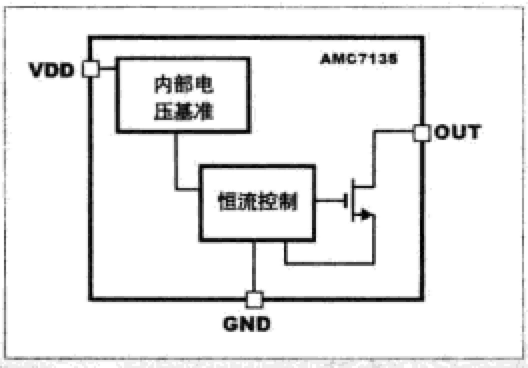


图3 AMC7135芯片工作原理图

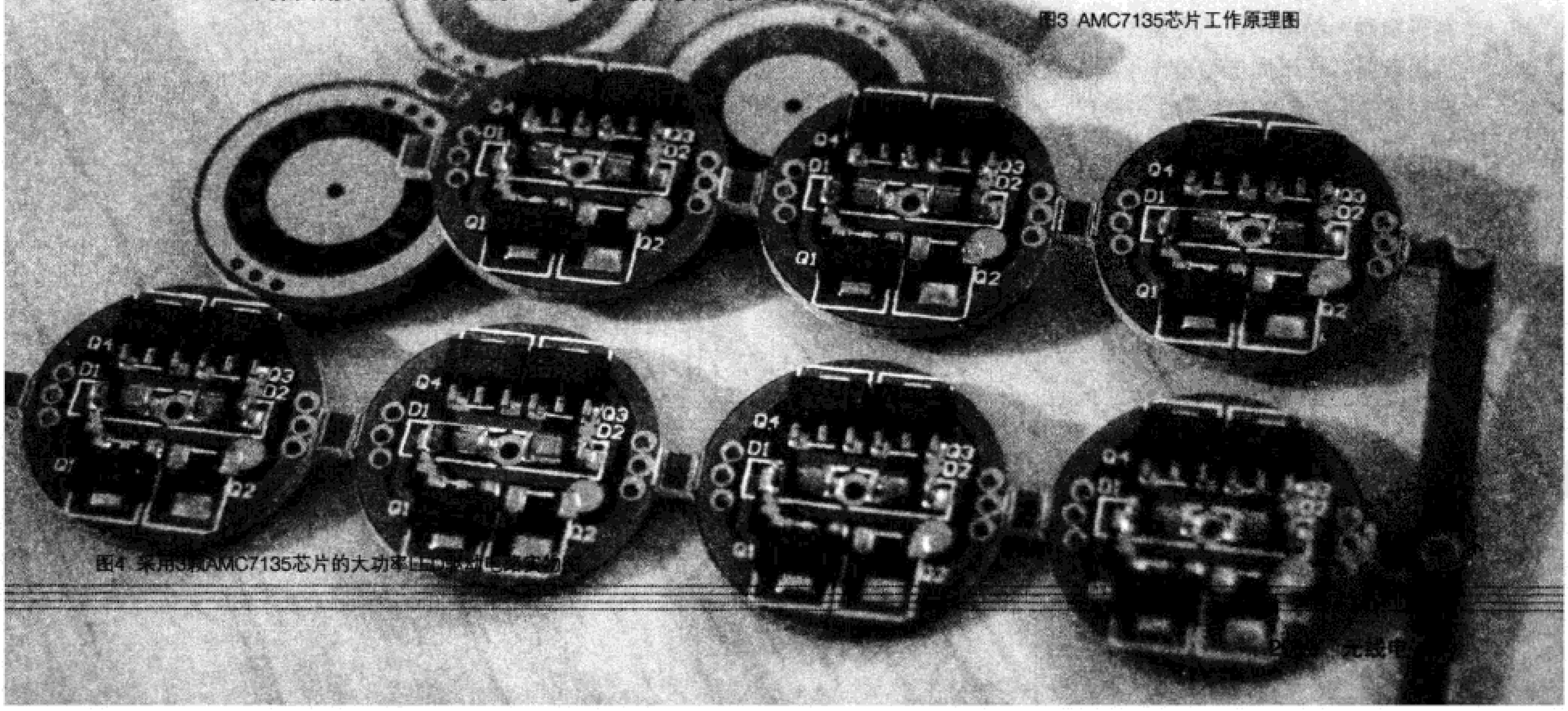


图4 采用3颗AMC7135芯片的大功率LED驱动电路实物图

252-5L封装、能够稳定提供700mA电流的AMC7140。

上面介绍的是线性降压芯片的典型应用，接下来我们了解一下DC-DC开关型电路的应用。

应用广泛的Zetex ZXSC310电路——DC-DC开关型方式

图5 ZXSC310实物图，采用SOT23封装，依旧十分小巧

首先让我们看看应用较为广泛的ZXSC310芯片电路。

ZXSC310为Zetex公司推出的大功率开关型LED驱动芯片（见图5），其与7135电路的主要区别是在输入电压高于V_F值时，其输入电流比7135要小，效率相对较高。工作电压范围为0.8~8V。可根据需求接成升压、降压和升降压模式，弥补了7135在输入电压值低于V_F值时无法工作的缺点。

图6是ZXSC310的典型应用电路图，图7是ZXSC310芯片的实际应用电路。笔者对其进行了实际测试。当电阻R1取10mΩ时，LED端输出电流超过1A。实际操作上改为6个0.1Ω并联，输出电流下降到650mA左右。4.2V输入时电池电流500mA左右，效率很不错。而正是由于其取样电阻较小，虽然效率高了，但输出电流不容易控制得精确，简单来说，可能由于电阻的因素而存在不同电路输出不同的情况。即若采用多个电路驱动不同LED，很有可能各颗LED发光不同，影响发光的一致性。

图8为一个采用ZXSC310芯片的可进行调光的实际应用电路。调光芯片采用的是PIC12F629，若采用单节锂电池供电，虽然说并不能完全将锂电池内的电量用完，但在电池电压较高的阶段，基本能保持输出电流稳定，效率也很高。而当电池电压低于3.3V时，输出电流就无法维持了，会产生急剧下降。此时电路基本无法工作了，而这时的锂电池也基本该充电了，这样就省去了锂电池过放保护电路。另外，该电路空载时不工作，避免了空载电压过高而导致电路烧毁的危险。

性能更优越的凌特力尔LTC3454电路——同步整流方式

虽然ZXSC310芯片已经很优秀，并且能够完成低电压工作，但是对于高性能电路的追求是不会停留在此的，让我们来学习一下一款采用同步整流方式工作、性能更加优良的LED驱动芯片——凌特力尔公司LTC3454芯片。该电路突出的优点是能够做到真正的升降压工作，无论什么样的亮度输出，其输出都是稳定的直流，彻底消除了频闪问题，且电流输出非常恒定，全工作电压范围内的电流波动不会超过几毫安，对不同V_F值的LED适应性也很好。它采用同步整流方式工作，效率很高，能够维持在90%左右。该电路具有LED开路、短路保护，更加稳定。

图9所示为LTC3454芯片的典型应用电路图。其芯片内部集成4个MOS管，外围元器件也并不是很多，较为方便，并且有EN1、EN2使能输入，结合两个外部用以设置电流的电阻，可以实现4个不同挡位（包括关断停机挡）。由图9可以看到，其BUCK-BOOST的DC-DC转换器工作频率为1MHz，这个值很高，使得其外围电感可以采用较小电感值。在实际应用中，采用4.7μH的贴片功率电感即可以很好地工作。

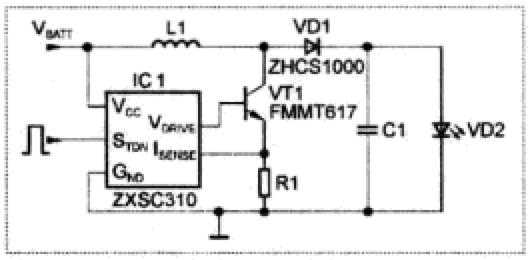


图6 ZXSC310的典型应用电路图

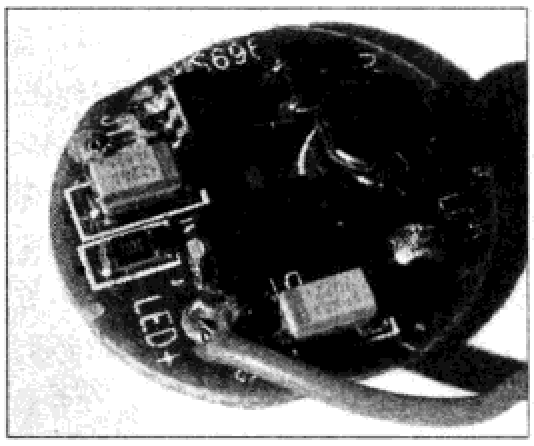


图7 ZXSC310芯片的实际应用电路，左上角的标注C310的即为ZXSC310芯片

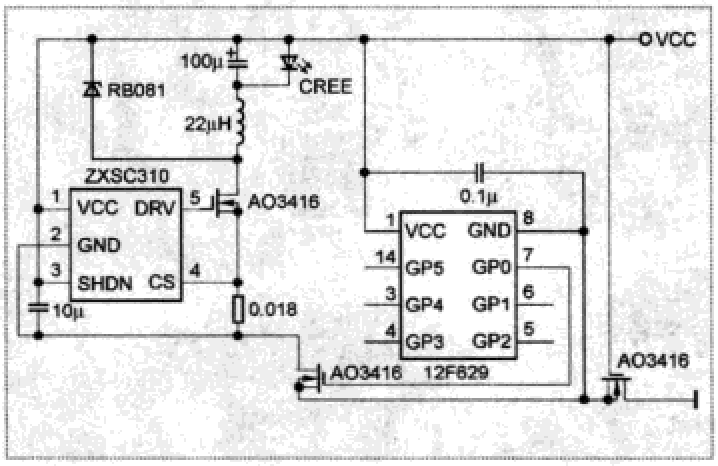
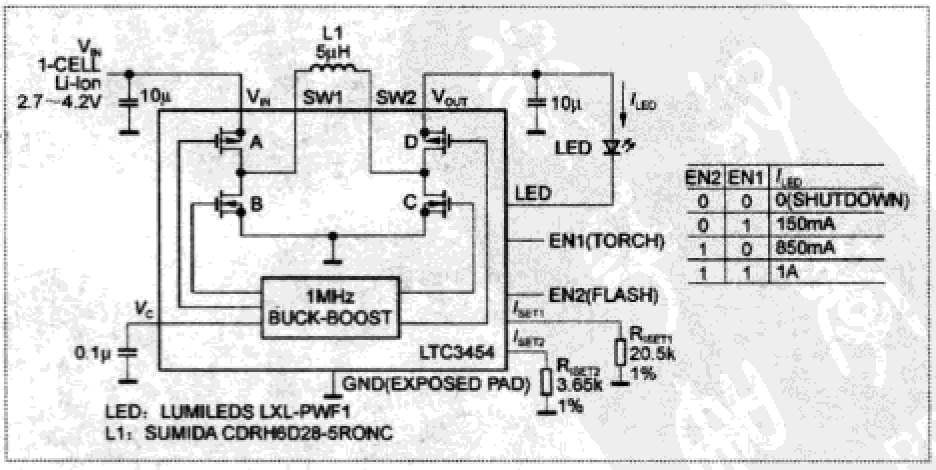


图8 采用ZXSC310芯片的可进行调光的实际应用电路



EN2	EN1	I_{LED}
0	0	0(SHUTDOWN)
0	1	150mA
1	0	850mA
1	1	1A

图9 LTC3454芯片的典型应用电路图

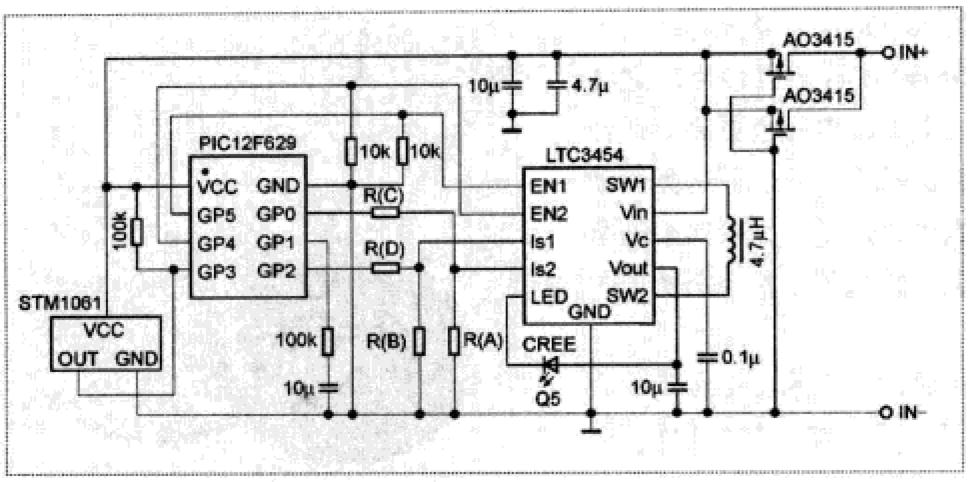


图10 一款采用LTC3454芯片的成品电路图

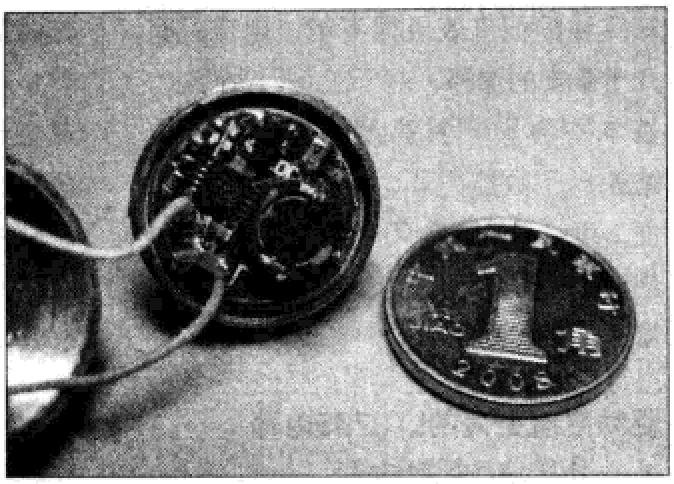


图11 采用LTC3454芯片的成品实物图

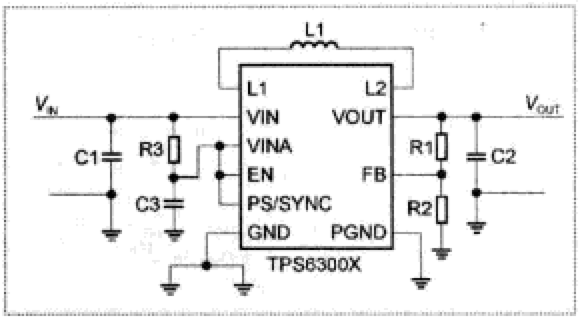
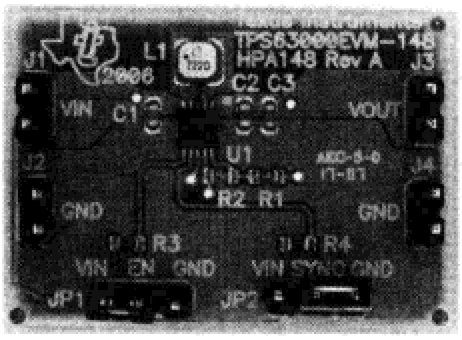
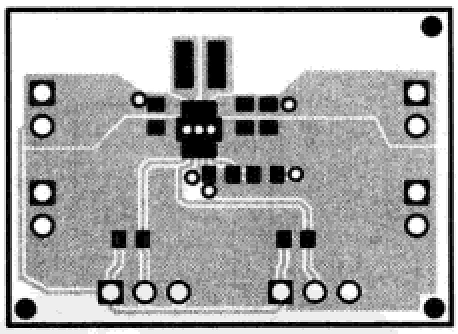


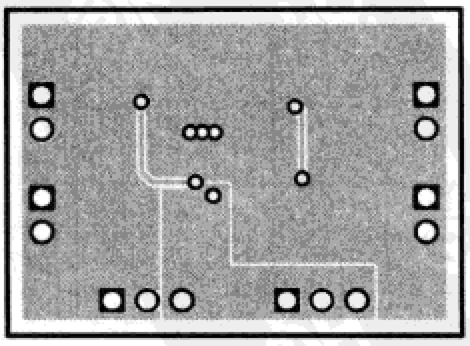
图12 TPS63000芯片的典型应用电路。其中V_{OUT}设置可进行调整：$V=(R1/R2+1)V$。



(A) 评估板的正反面PCB布线



(B) Top Layer布线



(C) Bottom Layer布线

图13 TPS63000评估板

下面介绍一款采用LTC3454芯片的成品电路（电路图见图10，实物图见图11，采用的调光芯片依旧为PIC12F629）。

可以说，3454电路是2008年应用在大功率LED手电上最火的驱动电路，当然3454电路也并非尽善尽美，虽然凌特力尔公司标称的电流能够达到1A，但实际应用中，其稳定工作电流能维持在850mA左右，再大的电流设置会有烧毁芯片的危险。

了解了以3454电路为例的LED驱动芯片，接下来我们来学习更为先进的、结合了DC-DC升降压芯片与MCU AD采集并进行闭环控制的驱动电路。

更先进的TPS63000电路——MCU+DC-DC整流方式

我们先熟悉一款比较适合LED升降压驱动的DC-DC转换器——老牌的芯片厂商德州仪器（Ti）公司生产的TPS63000。该芯片采用耐热增强型10引脚的（3mm×3mm）QFN封装，其内部集成有4个MOS管，对外围元件要求很低。

TPS63000的典型应用电路如图12所示。它是非常典型的DC-DC升降压芯片，标称能够最高达到96%的效率，电流能够达到1200mA。输入的电压范围为1.2~5.5V，输出电压范围为1.8~5.5V，大功率LED的V_F值基本在此区间内。

Ti公司提供了这个典型应用的评估板，其评估板PCB实物如图13所示。

当然这类的内部集成MOS的DC-DC芯片依旧有很多，笔者现在使用的芯片还有凌特力尔的LT1371。从实际测试结果来看，性能很不错，之所以选择TPS63000，是因其体积相对较小巧，工作电流能够达到1.2A，能够满足普遍需求。其DC-DC开关频率最大能达到1.5MHz，电感同样不需要选择很大的，在体积上很适合做到小巧。

不过，TPS63000 DC-DC芯片无法直接应用到LED驱动上，因为其输出是恒定的电压，并非恒定的电流，LED驱动最重要的就是恒流。为解决这个问题，就要引入MCU的闭环操作了，其解决方案是，将LED端串联进一个用于电流采集的小电阻，加运放放大后接入单片机的AD采集，在单片机里根据测得的电流值用DA输出来控制TPS63000的输出电压，达到控制LED端电流、实现恒流的目的。

图14为一个采用该方式进行恒流控制的实际应用电路，图15为其电路实物图。该电路的开发者为国内手电发烧友论坛“手电大家谈”的CQCWC，其设计的该款电路从实测效果来看，效率非常高，通过数控方式

来实现的恒流效果很不错，电流只有几十毫安的漂移，对于LED驱动来说，基本不会影响其亮度输出，并且电路使用了数控方式，可调性更高更方便。可以说，这种采用MCU+DC-DC整流的方案是现阶段LED驱动电路中技术最新也是最好的了。

驱动电流更大的LT3785电路——外接MOS管方式

TPS63000芯片只是这类驱动方式中较好推广与应用的，我们还可以选择其他的DC-DC同步整流芯片，更可以选择外接MOS管的芯片，这样其驱动电流更大，电压也更高，适合于多LED串联驱动。不过，这类驱动电路的体积也更大了，比较典型的有LT3785，其电路典型应用电路图如图16所示。

图16电路的输入输出电压范围为2.7~10V。采用同步整流方式工作，电流最大能够达到10A，效率最高时更是能高达96%，性能非常优异。工作电压很适合单或双锂电池供电，而输出则

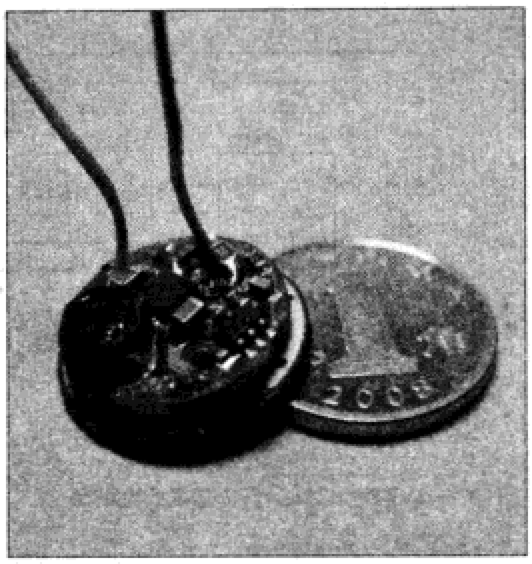


图15 采用TPS63000的恒流电路的实物图

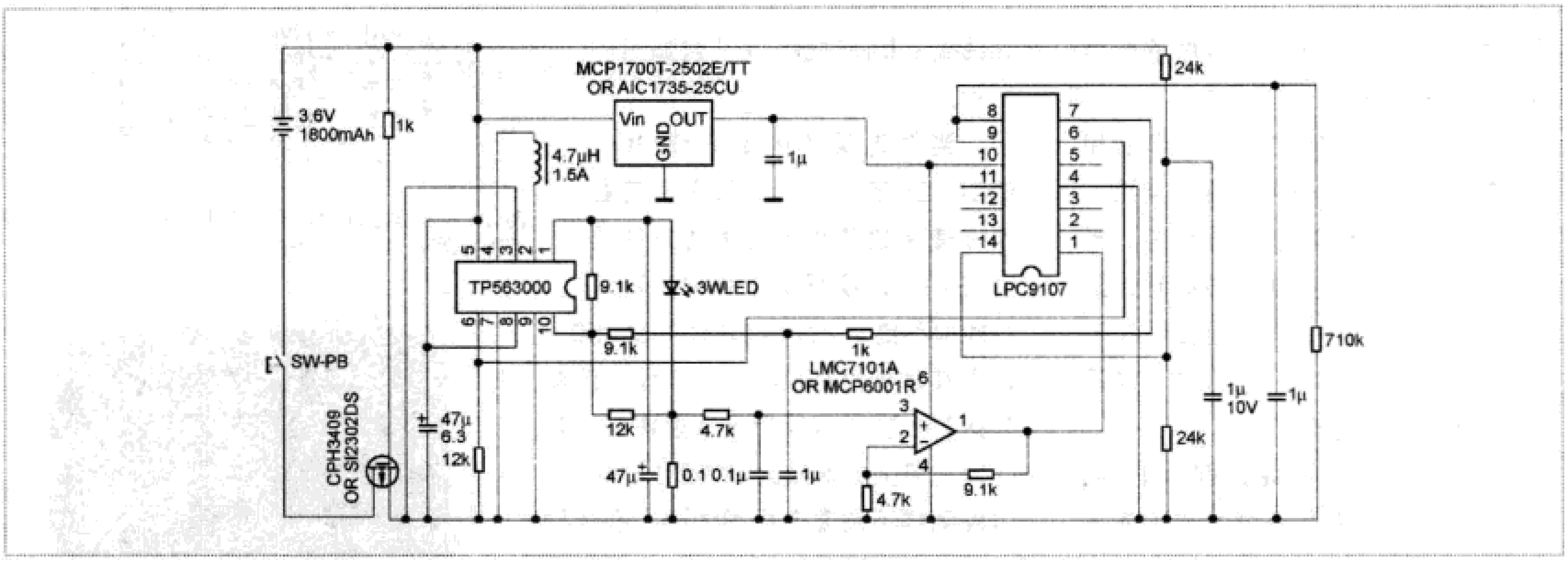


图14 采用TPS63000的恒流电路的电路图

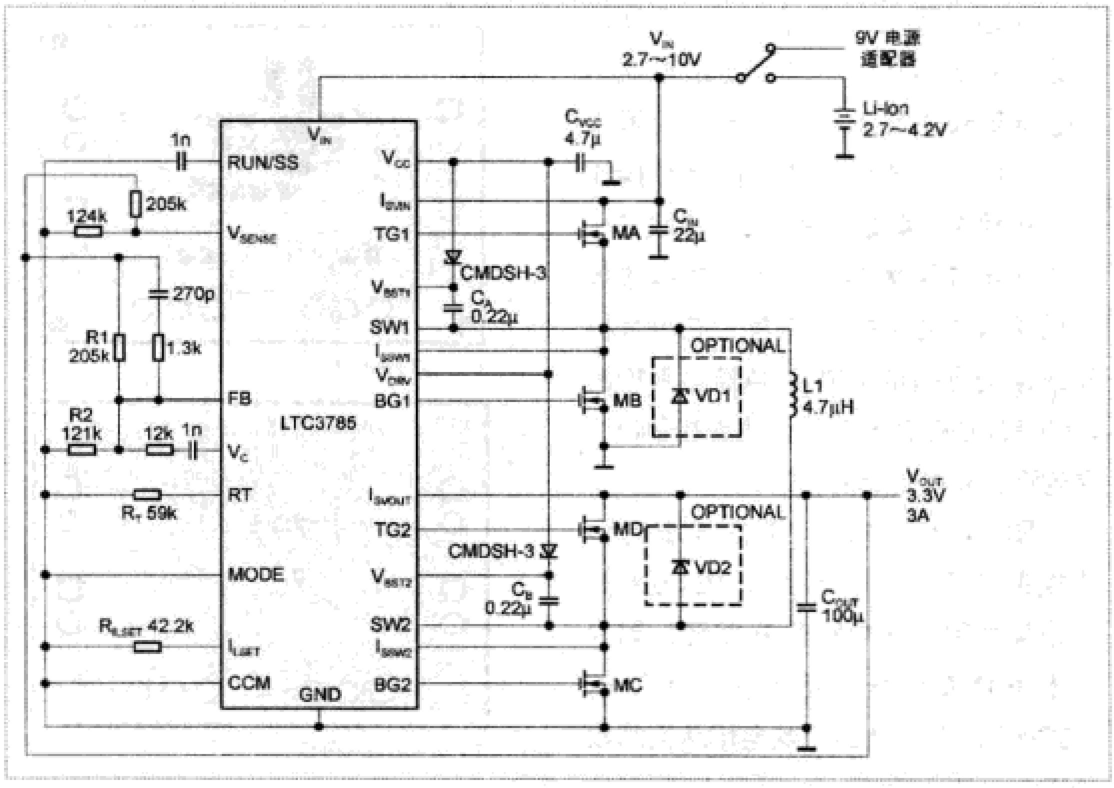


图16 LT3785的典型应用电路图

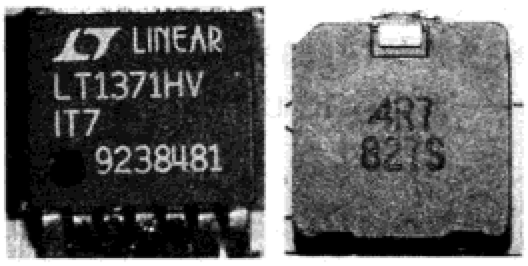


图17 LT1371芯片实物图与电感实物图

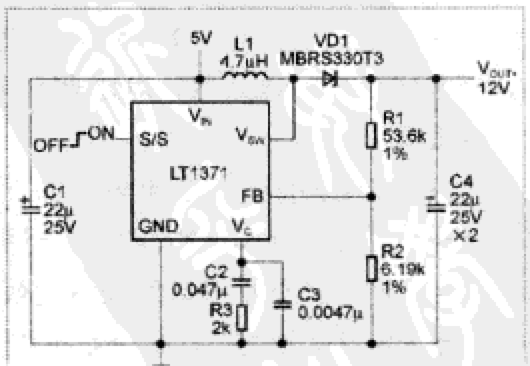


图18 LT1371芯片的一个典型应用，其中V_{OUT}设置可进行调整：$V_{OUT}=(R1/R2+1)V_{FB}$。

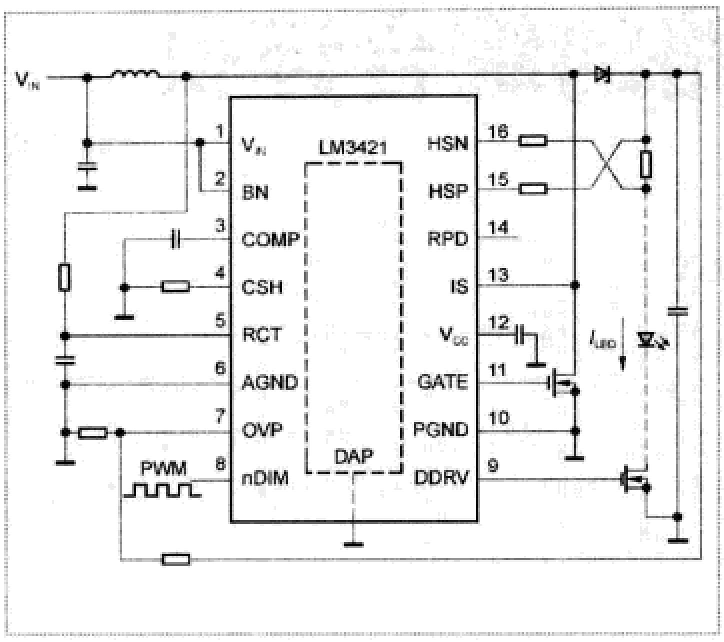


图19 LM3421芯片的典型电路

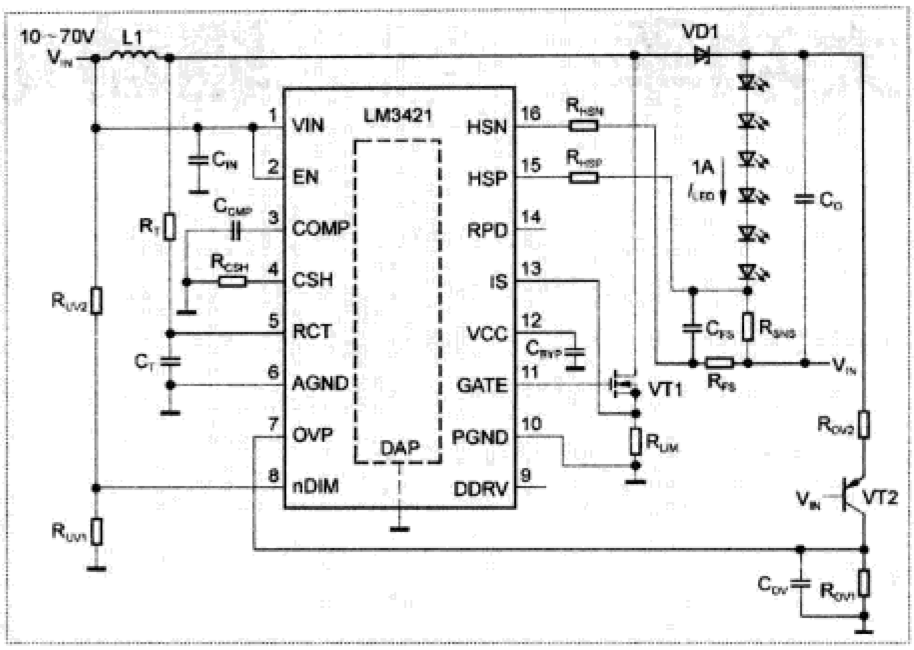


图20 LM3421采用升降压方式工作的实际应用电路图

可以满足更大功率的LED驱动要求。

适合LED串联驱动的LT1371电路——内部集成MOS管方式

由于采用外部MOS管的方式，LT3785的外围芯片使用较多，体积上很难以做到小巧。若想采用更加小巧的方式，你可以选用内部集成MOS的芯片，驱动能力相比63000要更加强劲，该类芯片较为典型的就是上文提及的LT1371（见图17），其输出电压可较高，适用于多颗LED串联驱动。

LT1371芯片共有7个外围引脚，相比3785则要简单得多。其封装共有3种选择，分别是7-Lead Plastic DD Pak、20-Lead Plastic Small Outline和7-Lead Plastic TO-220，其中20脚的中间部分多为接地，而TO-220封装更可以在芯片上安装散热片。

我们一起来看一下LT1371芯片的一个典型应用（见图18），这是一个输入5V、输出12V的DC-DC升压电路。

在该电路实际制作上，电路对电感的要求较高。由于电感值较低（为4.7μH）、工作频率较高，而且对电感的饱和电流要求也较高，实际应用中笔者采用的是12.9mmX12.6mmX5.4mm的大电流功率电感，其饱和电流能够达到7A。经过实际测试，电阻平均在10mΩ左右，该电感外壳全封闭，有接地焊盘，可以做到静电屏蔽。

在输出的滤波电容上采用的多是钽电容。这里要注意的是钽电容的耐压，否则容易出现烧毁的情况。肖特基二极管则要选择响应快速的，也可采用多颗并联的方式来增加其导通电流，同时降低其导通电阻。

输出能力强劲的LM3421电路——升降压方式

前面主要介绍的是凌特力尔和德州仪器公司所生产的芯片，作为老牌芯片厂商的国家半导体，当然也有着其应用于LED领域的芯片，典型芯片有LM3421。

LM3421输入电压范围较广，V_{IN}范围从4.5~75V，具有输入欠压保护和过电压保护，采用50kHz的PWM调光。内部的开关频率更是可以高达2.0MHz。其输出能力也非常强劲，可以稳定1A的电流来同时驱动9颗串联LED。对于大范围照明应用，它通过单一驱动电路来驱动多颗LED，相对降低了成本。LM3421采用16引脚的TSSOP封装。

LM3421芯片最基本的典型电路如图19所示。同样采用串联检测电阻的测量的方式来实现闭环控制，进而达到恒流的目的。而其调光方式相对来讲也简单多了，并不需要更加复杂的单片机AD与DA检测及输出，只是通过PWM占空比的调节就可以得到相应的电流强度，最终实现调光的目的。

表2

C_T=1nF	R_T=49.9kΩ
R_{SNS}=0.1Ω	R_{CSH}=12.4kΩ
R_{HSP}=R_{HSN}=1kΩ	L1=33μH
C_O=4×10μF	R_{LIM}=0.04Ω
C_{CMP}=0.33μF	R_{FS}=10Ω
C_{FS}=0.27μF	C_{IN}=4×4.7μF
VT1 32A/100V DPAK	VD1 12A /100V DPAK
R_{UV1}=18.2kΩ	R_{UV2}=130kΩ
R_{OV1}=13.7Ω	R_{OV2}=432kΩ

该芯片在采用升降压方式工作的实际应用电路如图20所示，各元器件的值见表2。

LM3421芯片的特点是通过自带的电流检测电阻来自行实现闭环控制，与上文所提及的传统DC-DC芯片相比，集成度更高，控制上也更加方便，仅通过调节PWM的占空比即可实现。而PWM信号则可非常方便地由其他控制端提供。若不需要调光，则可以按照上面的电路通过两个电阻分压的方式来控制其输出。

大功率LED驱动电路的综合评价

◎宋思源

评价一款 LED 驱动电路最重要的指标就是其恒流的特性，这也是 LED 本身特性所要求的。同电流一样，输入电压也是需要考虑的，宽电压输入会使驱动电路的适用范围更广。

除了这些，较为典型的指标外就是电路的效率了。效率越高，在驱动相同LED时，能够提高电能与光的转换率，也相对更加省电。我们具体来了解一下这些指标。

电流

电路的驱动电流直接决定了 LED 的工作功率。对于单颗发光核心的 LED，以典型的 CREE 公司的 XR-E 级别 LED 来讲，其驱动电流一般稳定在 1A 即可。若是多颗串联使用，一般单颗采用 800mA 左右的电流基本上都可以满足要求了。当然若是多核心的发光体，则保证单核心稳定在上述电流情况下即可。电流的具体设定还得参考使用的是哪款 LED，一般 LED 厂商都会有推荐的驱动电流。电流并非越大越好，在电流已经比较大的时候，提高电流对光通量提高的影响并不是非常显著的。LED 的致命缺点就是不耐高温，高温对于核心的影响很大，这与传统白炽灯恰恰相反。大电流下 LED 的发热也会增大，散热不好会影响核心的光效，进而影响整个 LED 的寿命。

若需要不同的亮度输出，则调光功能在电路中会显得非常必要，调光的途径自然是依靠着调节电流来实现的。上文提及的LT3454芯片通过I/O设置，其自身就可以实现4挡恒流输出。而LM3421则是通过PWM占空比直接调节输出的，其输出电流更加方便控制。

工作电压

一般说来，电路的输入电压范围越宽越好。当应用范围是路灯一类的固定照明领域时，要考虑电压波动和浪涌的情况，当应用范围是移动照明时，则要考虑电池过放的问题，如是采用工业用锂电池，则要考虑电池保护，不要因为过放而损坏了充电电池。

效率

这里的效率指电路输入与输出的转换效率。效率高也意味着电路本身有更低的能耗与发热，降低不必要的能量损失，自然也相对提高了电能光能转换比，也就相对节能了。上文提及的DC-DC同步整流芯片的重要优势就是其效率较高，同时自身的发热较小。如TPS63000芯片，在驱动电流达到1A时，其芯片自身仅仅是温热。

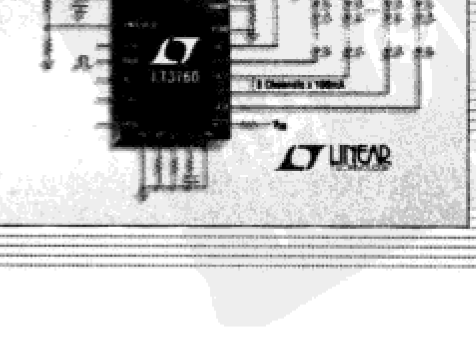
随着社会对 LED 行业关注度的提高，大功率 LED 驱动芯片也不断推陈出新。各芯片厂商都在推出其相应的驱动解决方案。笔者在本文中由易到难地介绍了目前典型的几种大功率 LED 的驱动方式、典型芯片与典型应用。归根结底，这些驱动方式的最终目的都是达到恒流。随着技术和产品的不断升级，很多驱动电路输出能力越来越强，而有些电路的设计本身并不只是局限于 LED 驱动，更可以应用于其他开关电源领域。LED 及其驱动技术、电源管理技术将向着节能、高效、环保的目标不断升级，笔者愿与读者一起继续共同关注、共同学习。

2串HB LED驱动器MAX16838

MAXIM推出了2串HB (高亮度) LED驱动器MAX16838，适合用于汽车电子。该器件集成了一路升压或SEPIC开关转换器、两路线性吸电流调节器以及所有必要的功率MOSFET。MAX16838能够优化转换效率，提供完备的故障保护，实现5000:1的亮度调节范围，且无需任何外部元件。该款HB LED驱动器非常适合LCD背光应用，尤其适合汽车显示器中的LCD背光。MAX16838能够为每串LED提供150mA电流，工作在-40~+125℃汽车级温度范围，具有4.75~40V较宽的输入电压范围。

8通道LED驱动器LT3760

凌力尔特推出了8通道LED驱动器LT3760，该器件采用一个升压型DC/DC控制器，每个通道能驱动高达45V的100mA LED 串，内部60V、1MHzDC/DC升压型控制器被设计成面向多达80个白光LED 的恒定电流LED驱动器。LT3760可以实现用一个12V 输入电压驱动8个通道、每通道多达10个串联的100mA白光LED，同时提供超过92%的效率。其多通道能力使该器件非常适合中型和大型TFT LCD背光照明应用，其6~40V的输入电压范围使该器件适用于汽车、航空电子设备、HDTV和工业显示器应用。



在网络上见到有人销售用辉光放电数字管制作的数字钟，价格不菲。它采用古老的类似电子管的辉光管做数字显示，发出橘红色的辉光，特别是在晚上，宛如烛光闪烁，古典而浪漫，别具一番风味。羡慕之余，一直琢磨着能拥有一台自己的“辉光放电管数字钟”。经过一些时间的准备和研究，终于开始了这次有趣的制作。

用辉光放电管制作的数字钟

◎茅凌云

动手设计电路之前，我们先对核心器件——辉光放电数码管做了一些了解。我们知道，辉光放电数码管是利用带有一定电压的电极在惰性气体中通过阴极产生辉光放电发光的原理进行数字显示的。有点类似我们常用的试电笔中发光的氖灯泡。

本文介绍的数字钟是采用QS30-1型辉光放电数字管，其外形和普通电子管相似，内部没有加热灯丝，是一种冷阴极端面显示辉光放电管（见图1）。在玻璃管内封装有10个阴极K（带小数点的为11个阴极）和1个公共阳极A（图2b的2脚）。10个阴极分别用金属丝做成0~9共10个阿拉伯数字的形状。类似我们的手写字体，在管芯内用陶瓷绝缘子把它们相互绝缘分隔开，并叠装在一起，10个阴极和1个阳极通过内部引线焊接在相应的引脚上，通过底部引出。

QS30-1引脚的识别：将引脚朝上，顺时针分别为1～13。其中2脚为公共阳极A，1和8脚置空，其他分别对应数字0～9（见图2b）。辉光数码管是真空电子管时代应用的一种数字发光显示器件，用于数字式仪表、自动计算设备及各种自动控制设备作数字和各种符号指示用。关于该器件的详细数据可到本刊网站（www.radio.com.cn）上下载。

由此我们发现，该数字管与一般的LED数码管结构不同。它的特点是，每一个引脚对应的是一个完整的数字，而不是LED数码管中数字的一个笔画。这给我们的电路设计带来了很大的便利。因为采用了辉光放电原理，这要求电路需要提供较高的电压，一般为170V左右。其次，该数字管虽然外形与电子管类似，但由于内部没有加热的灯丝，电路的功耗也就变得非常小，而且不会有发热的麻烦。这些与我们常见的试电笔里的氖灯泡很类似，发出的光的颜色也一样。

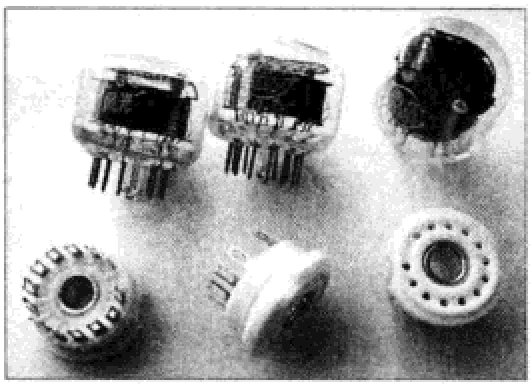


图1 辉光放电管

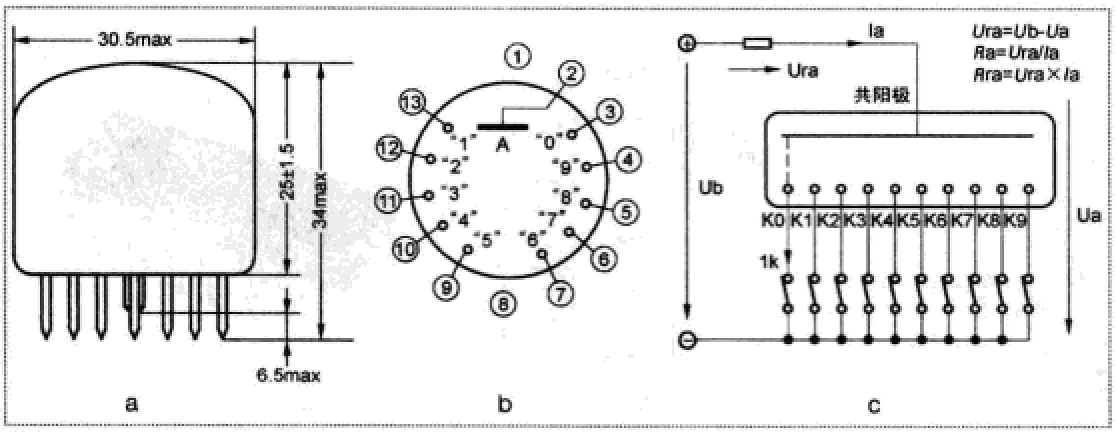


图2

为了方便爱好者仿制此电路，加之该数字管的特殊构造，笔者没有采用常用的单片机电路，而是利用常见且非常便宜的数字电路来完成。电路不仅简单、可靠，容易制作且成本低廉，还具有整点报时，停电自动走时等实用功能，见图3。

工作原理

为了便于分析图3电路的工作原理，我们这里分成几个部分来介绍：

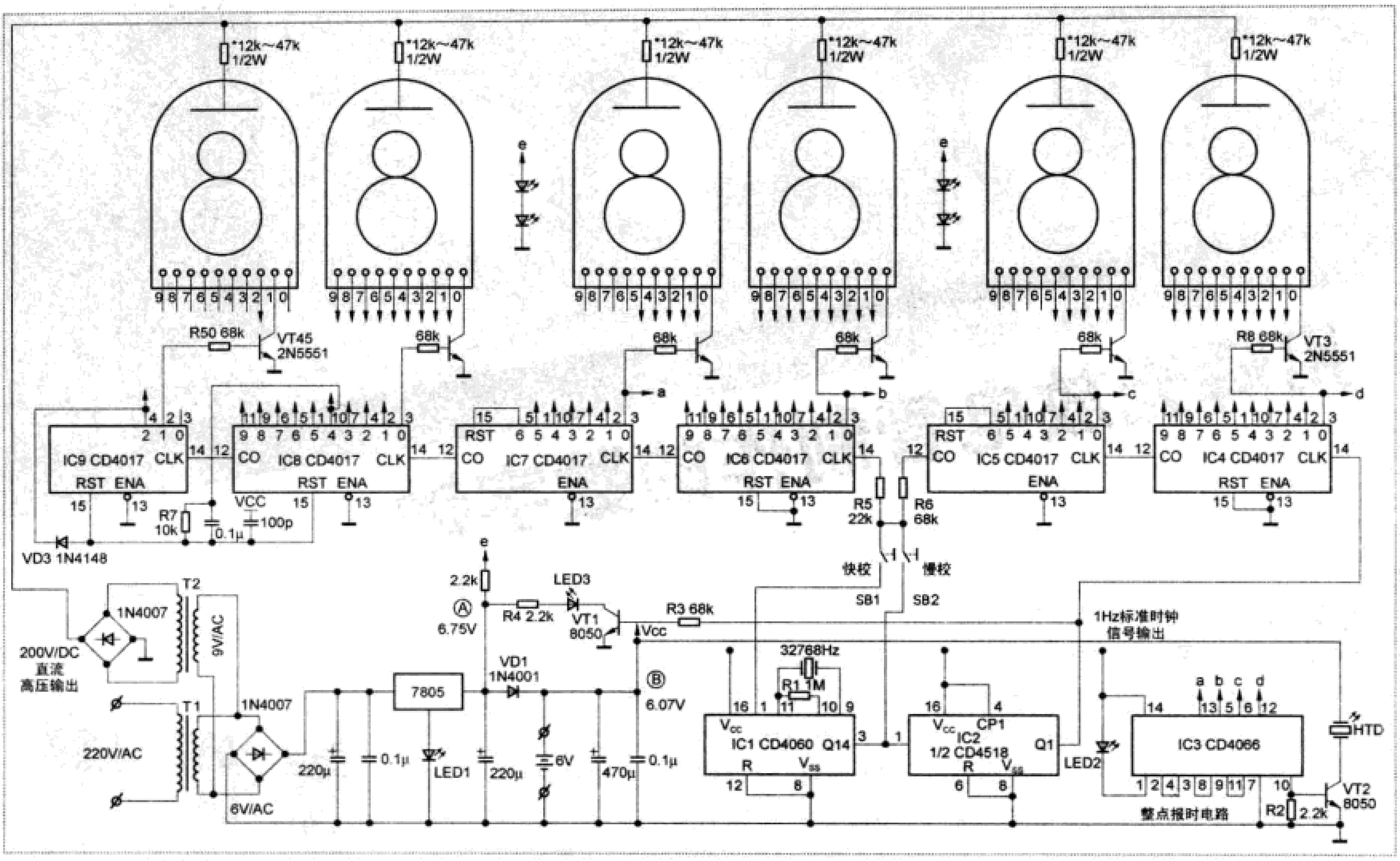


图3 本数字钟完整电路

1. 秒基准脉冲发生电路

电路由14位二进制串行计数器、分频器和振荡器CD4060（IC1）、BCD同步加法计数器CD4518（IC2）及石英晶体（32.768kHz）组成。电路中利用CD4060组成两部分电路。一部分是14级分频器，其最高分频数位16384；另一部分是由外接石英晶体，电阻构成振荡频率为32768Hz的振荡源。振荡器输出经14级分频后，在输出Q14（3脚）得到1/2s脉冲，并送入由CD4518构成的两分频器，分频后在输出端Q1得到秒基准脉冲。由于采用了石英晶体，秒基准脉冲得到了保证，数字钟的精度也得以确保。

图4是另外一款秒基准脉冲发生电路，类似前面介绍的电路，两分频采用的是CD4013的一半。您可以根据自己的情况选择使用。

2. 计数电路

这里采用十进制计数、分配器CD4017（见图5）。CD4017是由约翰逊计数器和译码器两部分电路组成。它有3个输入端：复位端R、时钟端CP和CPE（也叫EN）。有10个解码输出端Q0～Q9。在复位状态时，只有Q0为输出高电平“1”状态，其他输出均为低电平“0”状态。当有脉冲输入时，输出端依次变为高电平“1”状态，Q0端变为低电平“0”状态，另外还设有进位输出端CO，可作为级联时使用。

以秒显示部分为例：1Hz秒基准脉冲进入IC4（CD4017）的时钟输入端，此时IC4的输出端依次出现高电平

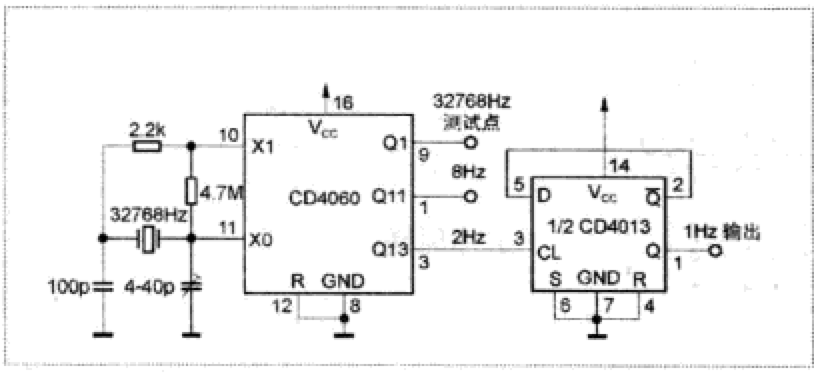


图4 一款秒基准脉冲发生电路

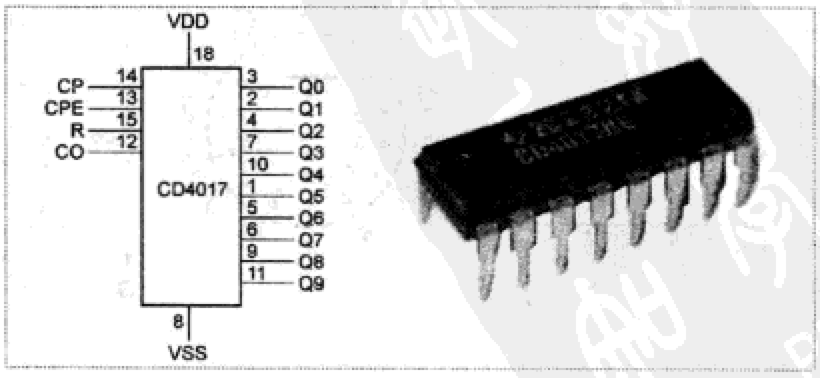


图5 CD4017

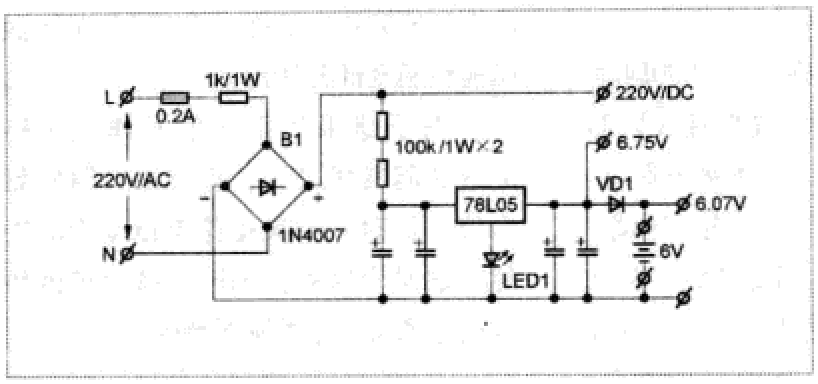


图6 一款供电电路

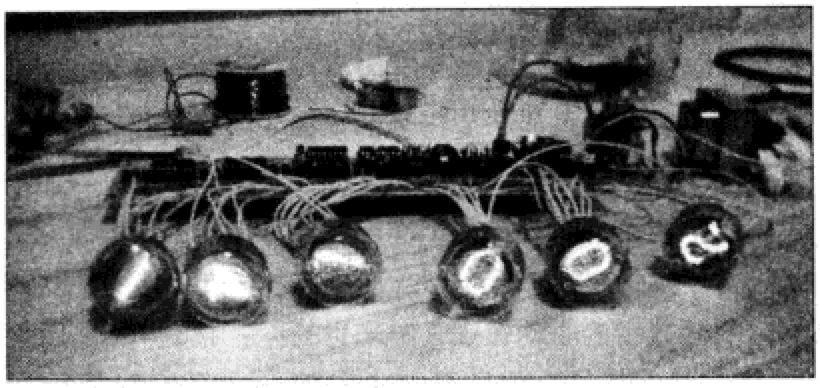


图7 电路要保证让每个数字显示正常

“1”，并通过VT3（2N5551）依次驱动0～9个数字。当秒个位计数到9时，电路溢出，IC4的CO端（12脚）产生进位信号，使得秒十位数字递增。同时，IC4则变为“0”，重新开始0～9的计时。当秒部分到“59”时，随着下一个秒信号的到来，秒个位由“9”到“0”，即IC4的3脚出现高电平“1”。由于IC5的6脚直接与复位端短接，导致IC5被复位而变成“0”，即IC5的3脚出现高电平“1”，同时，IC5的CO(12脚)产生进位信号，从而实现了“59”到“00”的变化。时钟的“分位”的工作原理与秒位一样，这里不再重复。

当时间走到3：59：59时，随着下一秒的到来，IC8的10脚（Q4）出现高电平，但由于VD2的存在，且此时IC9的4脚（Q2）为低电平，复位信号被旁通，故此时电路不会因IC8的10脚出现高电平而被复位。9：59：59时，IC8的CO（12脚）溢出进位信号，此时IC9的4脚（Q2）变为高电平，导致VT46（2N5551）导通（图3中没有画出），这时电路显示10：00：00。之后电路继续走时，同样当电路计时到13：59：59时，随着下一秒的到来，IC8不会被复位而继续计时。当计时到19：59：59时，随着下一秒的到来，IC8产生进位信号，IC9的4脚（Q2）变为高电平，时钟显示为20：00：00。之后，当计时到23：59：59时，随着下一秒的到来，因为此时IC9的4脚（Q2）已经为高电平，VD2截止，此时IC8的10脚（Q4）出现的高电平通过R7、C6使IC8、IC9同时被复位，此时电路显示0：00：00，从而实现了24小时制显示和24～0的变换。

3. 电源电路

电源电路包含三部分：提供约170V高压的电路，控制电路部分供电及后备电源保证停电时电路继续计时。170V的高压获得有很多种方法，图3利用一个副边为6V/AC，5W的变压器（B1）给电路提供6V的控制电源，另外利用一个副边为9V/AC，5W的变压器（B2）反接，通过整流电路给辉光管提供约200V直流高压。这样做，高压部分与市电完全隔离，比较安全，但成本较高，而且数字钟的重量、体积和成本都有增加。

图6是另外一款供电电路。它省去了电源变压器，直接将市电220V/AC通过B1变换成直流，供辉光管使用。控制电源电压通过两个100kΩ的电阻降压和78L05稳压获得。采用这种供电方式，电路板上将会带电，制作调试时需要特别小心，注意安全，以免触电！

控制电路采用常见的7805提供稳压输出，LED1为电源输出指示，同时因为接在7805的2脚，使输出电压抬高到6.75V，再通过VD1为IC1～IC9提供6.07V的工作电源。后备电源这里采用的是两个3V的纽扣电池串联，给电路提供6V的备用电源。供电正常时，由于电源电压略高于电池电压，电池处于在线充电，待命状态。一旦失去外界电源，电路将自动转为电池供电，这时所有的显示部分都没有显示，但计时电路仍会继续工作。VD1此时起隔离作用，防止电池消耗过快。由于全部是数字电路，耗电非常小，几乎可以忽略不计，所以尽管采用的是纽扣电池，即使是连续停电一年以上，后备电源仍可保证电路正常工作。

4. 整点报时电路

前面我们了解到，辉光管的每一个引脚对应的是一个完整的数字，这对我们实现整点报时提供了很大的方便。为了省事，笔者采用手头上现有的四位模拟开关集成电路CD4066。在图3中，分别将秒和分的个位、十位引出到模拟开关的IC3（CD4066）的控制端，4个模拟开关接成串联状态。当出现整点时间时，秒和分的个位、十位全部显示为零，a、b、c、d端同时为高电平“1”，4个模拟开关全部接通，电源电压通过LED2使VT2导通，蜂鸣器HTD发出持续1s的“滴-嘀”的整点提示声音。LED2在这里也用为整点指示。由图3可以知道，整点提示功能是不受停电影响的，即使停电时，该功能因为后备电源也会继续发声工作，以提醒我们时间的流逝。当然您也可考虑只取分位的两个“00”信号，来触发类似音乐集成电路（必须是一次触发的那种），以达到音乐报时的功能，可以参考后面的介绍。

制作要点

整个电路都是采用普通常见的元

器件，市面上很容易购买到，也非常便宜。电源部分如果是采用的双变压器电路，则要注意两个变压器的功率不能小于5W，才能保证每个数字显示正常，亮度均匀，长期工作不发热（见图7）。

每个数字的驱动在图3中采用的是2N5551，其最高耐压是180V，使用时要注意，直流高压不要超过200V，以免损坏驱动三极管。如果发现有的不该亮的数字有淡淡的显示，则可能是由于阳极位选三极管的微弱穿透电流引起的，把该管的阳极通过一个1MΩ的电阻接地，将穿透电流旁路掉就可以了。不过这种情况很少出现，除非是2N5551电路的性能不佳。

除了可以采用2N5551之外，也推荐采用MPS-A42（其详细参数的PDF文件可到本刊网站下载），它的参数为：U_{cb0}=300V，I_c = 0.5Amp，P_{tot} = 0.526W。除此之外，还可以选用BF118、BF179C、BF259、BF338、BSS48 BUW37 (金属封装)，或者BF413、BF420A、BF422A、BF483（塑料封装），或者AT1、AT2、NMPSA-42（贴片封装）。

在制作中，笔者实验了2种不同的QS30-1的辉光管，发现它们的工作电压会略有不同，差别在20～30V，同时为了达到最佳的显示效果，应注意阳极电阻的选择，根据不同的工作电压和不同的辉光管作适当调整，厂家推荐辉光管的工作电流为2.25mA，可以根据工作电压，参照图2c的公式计算出电阻值和功率。同时注意选择电阻功率要比计算的大一倍以上，以确保其长期工作不发热。

图3中辉光管之间的冒号是静止的，如果需要变成动态的，用LED3替换即可。SB1、SB2分别为时间调整按钮。备用电池采用计算机使用的3V纽扣电池，配有专用的电池座，使用很方便。元件安装完毕后的控制电路板见图8。

整个电路比较简单，为节约时间笔者采用多孔板直接搭线焊接（见图8)。元件按由小到大的规律逐一安装，分别按前面介绍的几个部分逐一调试：电源电路、时钟电路、计数电路、整点报时电路，所有电路工作正常后，再放置电池，做通电测试。LED1为电源指示，LED3为秒信号输出指示。

控制部分只要接线正确，无需调试即可正常工作。电路工作正常后，可以根据自己的喜好做一个盒子，这样一个有趣的“辉光管数字钟”就做成了（见图9）。

至此，我们介绍完了这个6位、24小时制辉光管数字钟的制作。该电路的结构灵活，作稍许调整，还可以实现一个4位、12小时制的辉光管数字钟（见图10）。

相比图3电路，这款12小时制的辉光数字钟电路更加简单。电源部分直接采用市电转换成直流高压供辉光管使用。控制电压也是通过电阻降压，再通过一个稳压管完成，输出电压根据选用的稳压管而定，最后不要超过12V即可。图10中采用的是4.7V稳压管，实际输出约为5V。

1Hz的时钟基准信号是通过市电50Hz工频转换而来。50Hz工频通过IC1a（CD4013）的取样缓冲，进入IC2（CD4017）进行分频变成10Hz，再通过IC2（CD4017）进行十分频后成为1Hz时钟基准信号供数字钟使用。我们知道，如果是60Hz的工频，这时只需将IC2的5脚（Q6）与15脚（RST）短接即可得到1Hz的时钟基准信号。之后，再经过IC4（10分频）和IC5（6分频），获得时间“分”的计数信号供驱动部分使用。

由于是采用工频信号作数字钟的时钟基准信号源，停电后，时钟就会停止计时，不具备停电自动走时功能，这是个缺点。同时，备用电池也就失去意义，这里没再考虑。

计时部分，时间“分位”和前面介绍的没有区别。这里重点介绍时钟是如何实现12进1的功能的。

IC8的3脚（Q0端）与辉光管的数字“1”相连，11脚（Q9）与辉光管的数字“0”接在一起。当数字钟工作显示3：00时，即IC8的4脚（Q2端）出现高电平“1”时，由于VD1此时呈导通状态，IC8不会被复位而继续走时，当计时到9：59分时，随着下一计数脉冲的到来，IC8的11脚（Q9）端变为高电平“1”，此时小时的个位显示为“0”，同时因为IC8的11脚（Q9）端也与IC1b的3脚连通，导致IC1翻转，IC1b的1脚（Q）输出高电平“1”，使得小时的十位显示“1”，此时时钟显示为：10：00；继续下去，当时间到了12：59分时，随着下一个脉冲的到来，IC8的4脚（Q2端）出现高电平“1”，此时由于IC1b的1脚（Q）为高电平“1”，VD1呈现截止状态，IC8的4脚（Q2端）的高电平复位有效，导致IC1b复位，IC1b的1脚（Q）输出低电平“0”，同时IC8也被复位，此时IC8的3脚（Q0端）变为高电平“1”，辉光管此时显示1：00，从而完成了12进1关键的一步。

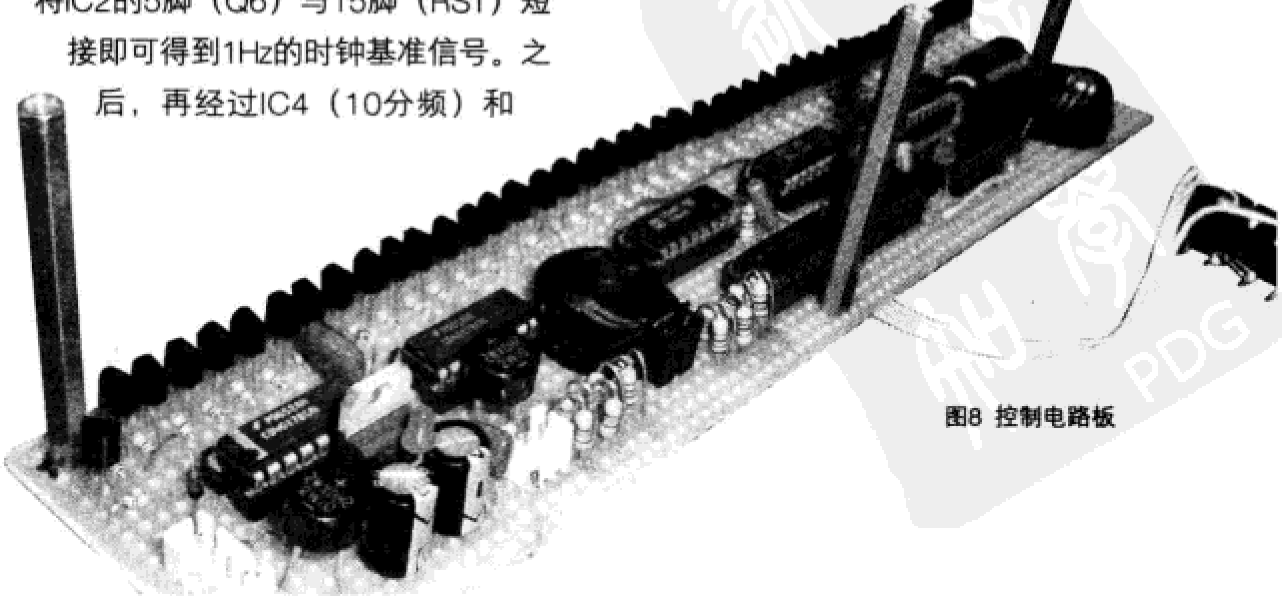


图8 控制电路板

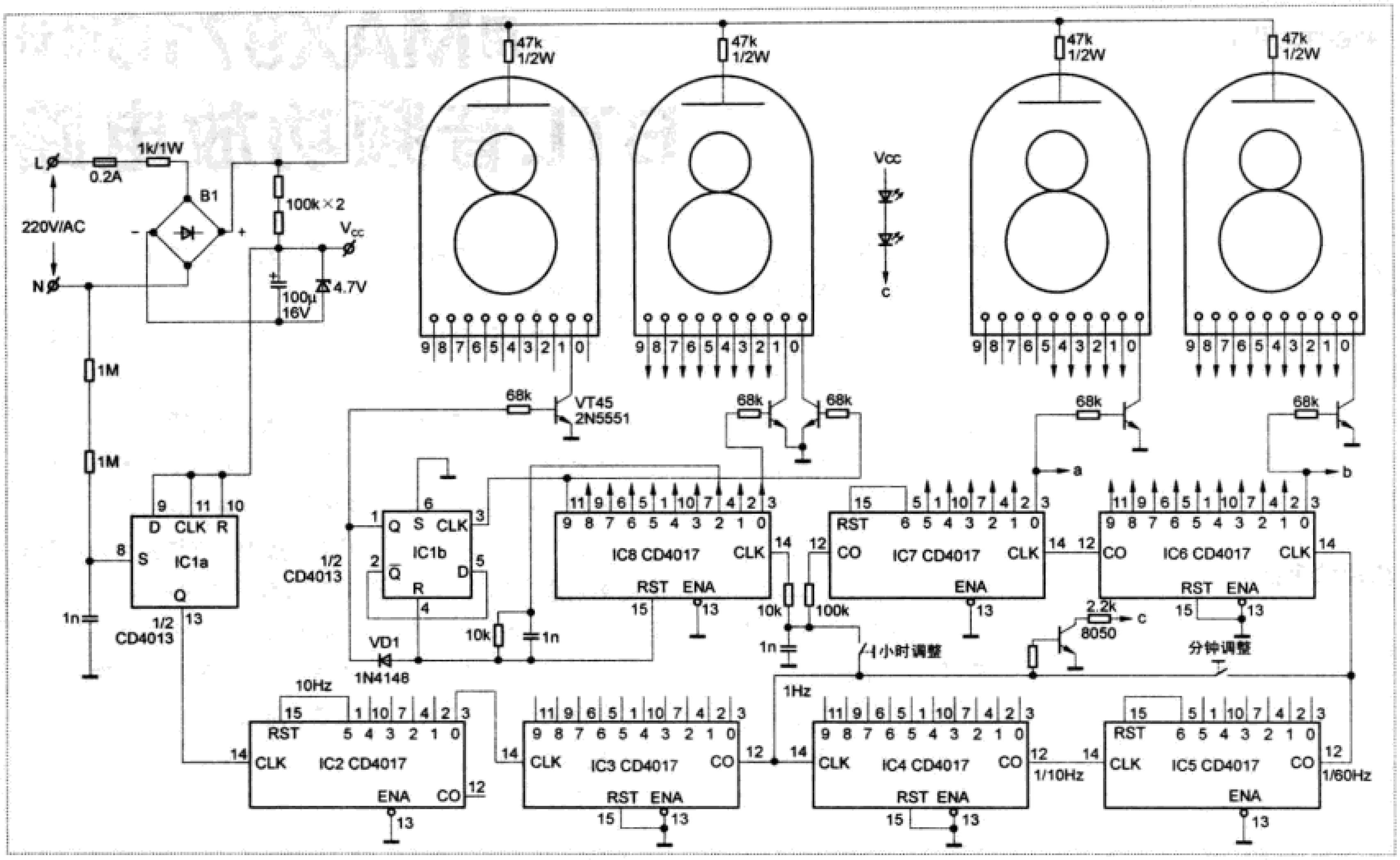


图10 改进后的、可实现4位/12小时制的辉光管数字钟电路图

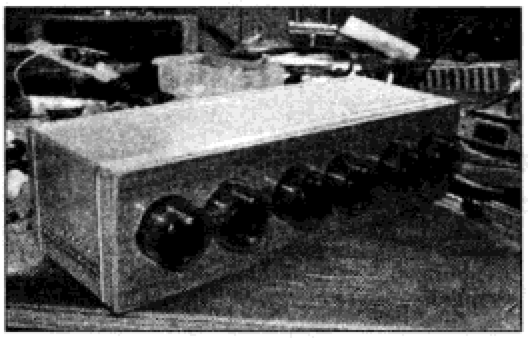


图9 自制的辉光管数字钟外观

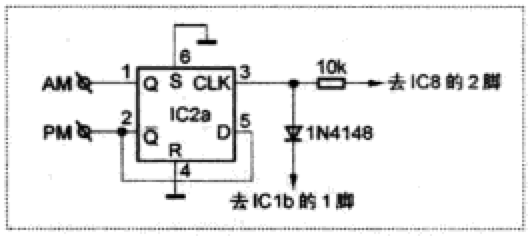


图11 AM、PM指示电路

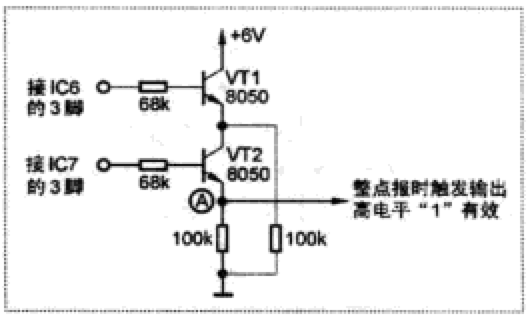


图12 整点报时电路

电路改进

12小时制的数字钟，缺点是无法区分上午和下午，为了弥补这个缺陷，图11给出了一个上午（AM）下午（PM）指示的电路。

为实现这个功能，需要另外一块CD4013（双D触发器），这只需要其中一个D触发器（IC2a），见图11。D触发器的时钟输入端（3脚）通过电阻与IC8（CD4017）的2脚相连，我们可以知道，IC8的2脚对应的是小时个位的数字2，这意味着当出现"12"和"02"的时候，这里会出现高电平"1"。同时，IC2a的3脚通过二极管与IC1b的1脚接通，因为二极管的单向导通特性，时钟电路出现"02"时，D触发器输出端（Q）不会变化，仅在出现"12"的时候D触发器才能翻转。从而实现AM、PM指示。制作时，可将另外一半闲置的D触发器的S、R、D、CLK接地，以免额外的电流消耗。

除了采用前面介绍的办法之外，整点报时电路也可采用图12电路。

电路非常简单，当出现整点时，时钟分位的个位和十位均显示为"0"，此时IC6、IC7的3脚均为高电平"1"，VT1、VT2均导通，图12中A点出现高电平，近似电源电压"6V"。这个电压会持续1min，可以利用这个信号来触发音乐集成电路，实现整点音乐报时。如果嫌自动报时功能在晚上太吵，可以考虑增加一个亮度控制功能，这样到了晚上就可以自动停止报时功能或自动减弱报时声响。

除此之外，我们还可做出"星期指示"，"辉光管亮度随光线自动调整"等功能，大家可以自己尝试，这里就不再介绍了。

新器件试用台

用MAX9716设计BTL音频功放电路

◎任杰

在本刊第2期中，笔者介绍了一款小功率的D类功放、+5V单电源供电、8Ω负载时，输出功率可以很轻松地超过1W，但是由于D类功放固有的EMI问题，使得这类功率放大器对电源性能、电路板的布局等方面十分挑剔。尽管它有着AB类功放望尘莫及的效率，但为此付出的代价就是不得不在克服高频干扰上下一番功夫。所以，如果效率不那么重要时，AB类的功放应当是首选。

样片的申请

确定了功放的类型，就要开始选择相应的芯片了。读者没有必要考虑用4片单通道芯片或3片双通道芯片来搭接一个双通道的BTL功放，那样既不合算也占空间。现在有很多专门为BTL音频功放设计的芯片，封装小巧，外围电路简单，比如下面要介绍的MAXIM公司的MAX9716。

有的读者可能对如何了解和获取这些芯片存在疑问。其实只要平时多关注这些IC制造商的网站，找到符合设计需要的芯片是不难的。阅读器件的数据手册，选定器件型号后，可以在各公司的网站申请样片。当然，并非所有公司的样片都那么好获取，笔者申请成功率最高的就是MAXIM公司的样片，这一次的MAX9716样片是笔者在浏览MAXIM公司官方网站时无意中看到的，大约在提交申请10天后就收到样片了。

原理简介

MAX9716是专门为便携式音频设备设计单通道BTL功放。工作电压范围：2.7~5.5V，负载阻抗4Ω时最大输出功率约1.4W（总谐波失真1%时），负载阻抗8Ω时最大输出功率约1.1W（总谐波失真1%时），开关机时无爆破音。

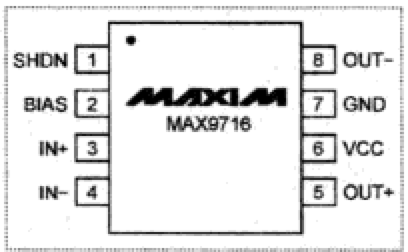


图1 MAX9716的引脚排列

MAX9716采用MAXIM公司μMAX系列的8引脚封装（尺寸等于ssop-8封装），图1为芯片的引脚排列图，图2为本次制作的应用电路原理图。如图2电路所示，芯片的1脚为使能端，必须上拉到高电平，2脚为直流偏置端，通过一个旁路电容接地。3脚和4脚为差分输入端，输入单端共地信号时，应将其中一个引脚交流接地，在这里可以将其直接连接到直流偏置端。电路的电压增益由输入电阻R2和反馈电阻R3设置，图中所示电路的增益为*2R3/R2*20V/V。确定了输入电阻阻值后，可以根据下限频率计算出输入耦合电容容量大小。图2中，笔者选取容量1μF的输入耦合电容，通过理论计算，得出由输入回路决定的下限频率为 $f_L=1/(2\pi R2C1)=34Hz$。

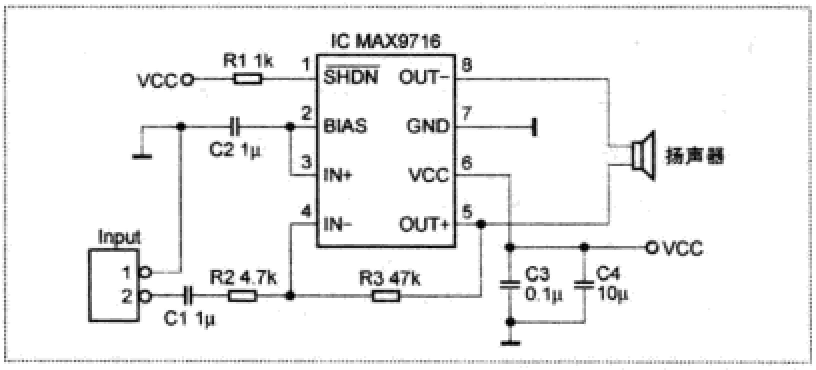


图2 MAX9716的应用电路图

电路板的制作

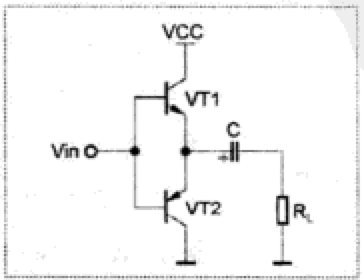
尽管应用电路十分简单，但是电路板的制作同样要求细心与专心，因为申请到的样片只有两片，容不得任何失误。

TIPS1

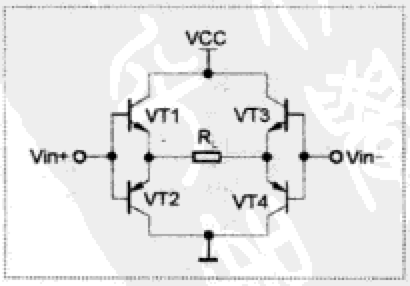
OTL与BTL的简单比较

为了降低对电源的要求，首要要求是单电源供电。单电源供电的AB类功放有两种实现方式，一种是无输出变压器的推挽功率放大器（OTL），一种是桥式推挽功率放大器（BTL）。

图A所示为OTL功放末级原理图，由于VT1与VT2的发射极静态电压为$V_{cc}/2$，所以必须加一个大容量的隔直电容，这样一来使得负载上获得的最大电压只有$V_{cc}/2$。图B为BTL功放的末级原理图，负载上的电压跟随输入电压（Vin+—Vin-），最大电压能达到V_{cc}。在理想情况下，在相同的电源电压和负载阻抗时，BTL功放的最大输出功率是OTL的4倍，并且不需要大的隔直电容，无疑是小功率AB类功放的首选。



图A OTL功放的末级原理



图B BTL功放的末级原理

别看MAX9716个头微小，但是工作起来产生的热量却是不可小视的。芯片底面有金属焊盘，与内部的公共端相连，在制作电路板时，必须留足可供散热用的铜箔，与芯片底面接触的铜箔可以不加阻焊，并且在芯片底放上尽可能多的通孔，保证散热良好。笔者做出来的电路板如图3所示，两片单通道BTL芯片构成一个双通道功放，整板尺寸约28mm ×20mm。

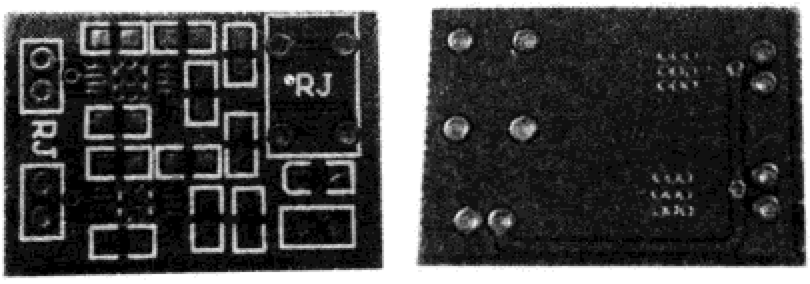


图3 做好的电路板

上一期的制作，笔者没设计音频接口，最后不得不把接口焊在板子背面，所以这次制作特意在板子上设计了一个立体声耳机插座，当作音频输入接口。本以为这次制作的电路板应该没什么遗憾了，但结果并非如此。

由于粗心大意，笔者一开始误以为芯片在使能端低电平时工作，所以板子画出来后使能端是通过电阻接地的，焊接完成后通电，发现没有任何响应，再次翻阅数据手册才恍然大悟。最后只好将使能端通过两根漆包线上拉到高电平，所以给电路板留下了瑕疵。图4为焊接好的电路板。

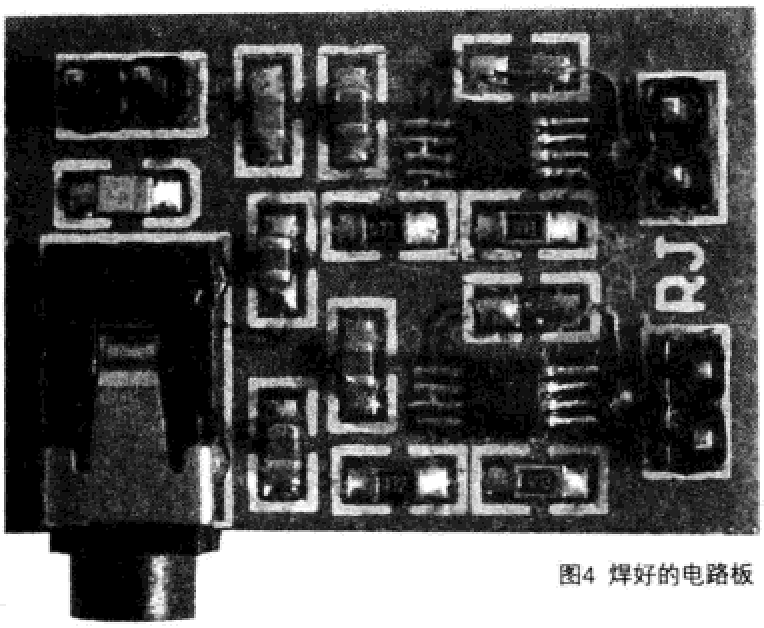


图4 焊好的电路板

测试与试听

制作完成后，笔者借用仪器对功放性能做了一些简单的测试。由于使用的函数信号发生器和示波器是共地的，所以无法在单端输入的情况下测试差分输出端波形，测得的输出波形均为一个输出端与地之间的电压波形。以下所有测量数据都是在电源电压 5V，输出负载为 8.2Ω/2W 电阻时得到的。

1. 输出功率测试

首先从一个通道输入1kHz/200mVpp正弦波，测得两输出端与地之间输出的峰峰值约2Vpp，且互为反相的不失真正弦波。由此可见，BTL放大器的电压增益为20V/V。然后增大输入电压，直到输出波形开始出现饱和失真，实测得到输入电压约250mVpp，对地输出约2.5Vpp时开始出现明显失真，波形见图5。由图5可见，BTL输出的峰值电压接近电源电压，由此计算可以得出，最大不失真输出功率为$P=(2.5\times2)2/(2\times8.2)$，约为1.5W。

2. 频率响应测试

输入1kHz/200mVpp正弦波，测得单端输出峰峰值约2Vpp的正弦波，减小输入信号频率直至输出电压，峰峰值减小到原来的0.707倍（约1.4Vpp）时，此时的信号频率即为放大器的下限频率，实测得该放大器的下限频率约42Hz，图6为输入42Hz/200mVpp正弦波时的输出电压波形（单端）。保持输入信号峰峰值不变，增大输入信号频率直至输出电压，峰峰值减小到原来的0.707倍（约1.4Vpp）时，得到放大器的上限频率约200kHz，图7为输入200kHz/200mVpp正弦波时的输出电压波形（单端）。最后输入10kHz的方波，测得输出波形见图8。

单从以上测试的硬性指标来看，这款功放的性能是相当优秀的。最后，笔者给电路接上扬声器，输入MP3音乐信号，扬声器里的声音干净，并且跟D类功放相比，声音比较柔和，没那么尖锐。笔者又换上开关稳压器作电源，无输入时听不到任何杂声，这显示了AB类功放的优势，不存在高频电磁干扰，对电源也不那么挑剔。

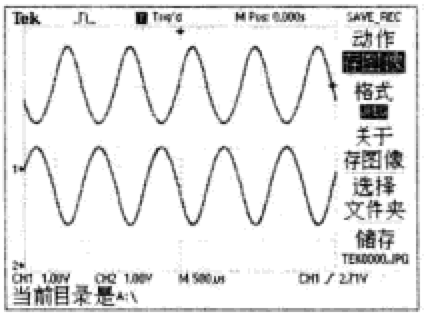


图5 输入1kHz/250mVpp正弦波时输出波形

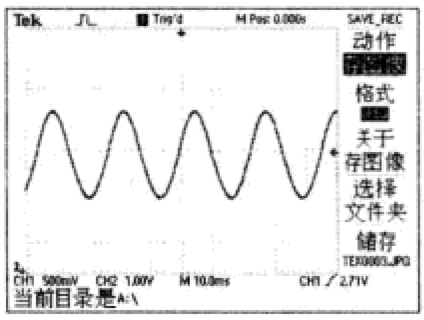


图6 输入42Hz/200mVpp正弦波时的输出电压波形（单端）

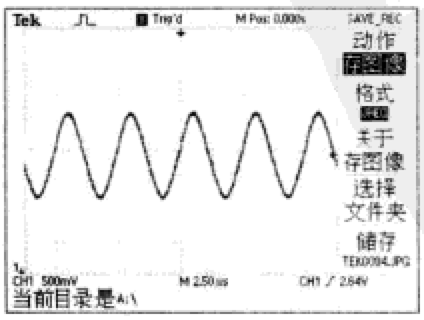


图7 输入200kHz/200mVpp正弦波时的输出电压波形（单端）

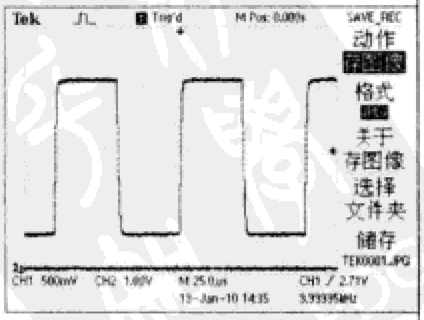


图8 输入10kHz方波时输出电压波形

简单可靠的锂电池充电方案（摘自www.hellocq.net论坛）

整理：草音
加入日期：2010-02-14
帖子：666

BG2VO：图1电路特点：相对简单，容易理解，元件容易取得，功能完善，特性理想。Vin是直流，整流稳压即可，但需要保证最小输入比Vout高2V。图2为改进型，从功能性能上，可充1～4节锂电池（通过R2来转换），充电电流0.1～3A连续可调（通过R5），方式是高精度的恒流恒压（CC/CV）。指示方面，分别用白色、红色、橙色、绿色LED指示电源、快充、慢充、充满，提供短路保护、过电压保护、反接保护、断电保护。CC/CV方式本身保证充电不会过压、过流。图2电路的设计中，感觉比较得意的有两点：1. LED1和LED2兼做“与门”逻辑。2. 充满指示，与电流设定值无关，都是到最大充电电流的5%。感觉不安的有：1. LED2必须用红色，要求5mA下压降不要超过1.8V，否则短路电流（设计为很小）仍然较大。2.还是复杂了些（主要考虑在保证性能、功能前提下的简化问题）。

Supernova：那直接把LM324换成lm339不就可以了？还有，那个电流源怎么做？难道真的做个恒流电路？

BG2VO：是的，LM324和LM339通用。开始我的确是用OC的LM339来解决“或”的关系，但后来把LED插进来，发现也可以用LM324，而且我手边只有LM324。如果省去充满指示功能（很多充电器没有或者不是真正的，例如飞毛腿），可以用8脚的双比较器LM393，并可以省去另外4个元件。电流源可以这样做：1.用成品电流源，我手里有两个。2.用小功率结型场效应管，直接把S和G（即源极和栅极）接到一起。3.用1个二极管、2个电阻和一个PNP三极管。若不用恒流源也可以凑合用，改为一个电阻（1kΩ），但效果差一些。

BG4IJE：此电路充电电流也是0.61A吗？多长时间能充满7.2V/1360mAh的锂电池？请指教！

BG2VO：电流是可以通过电阻来调节的。当调节到700mA时，充满为两个多小时。一般充电电流都取0.5C，太大了对寿命不利，太小了充电时间太长。如果不介意充电时间长，电流也可以取得小一点。1360mAh的电池，0.5C电流就是680mA。

BG7KH：请教，单节锂电池放电终止电压是多大？谢谢！

BG2VO：单节锂电池，标称3.6或者3.7V，实际电压大多数场合下比这要高，充满电达到4.2V，并且放置后也不会降低，正常放电电压为4.1～3.6V。低于3.6V，有时用电器（比如数码相机）就会显示电池不足，达到3.1～3.2V时干脆就自动关机。尽管有些锂电池说明书上写最低放电电压为2.75V，但那一般是说大电流场合。尽管很多锂电池的内部放电保护电路动作电压为2.5V，那是极端场合，低于2.5V会造成很大的、永久性的损害。事实上，一旦电压低于3.3V，放电曲线下降速度很快，已经没有什么使用价值，因此建议放电中止电压为3.2V。如果大电流放电（0.5C左右），中止电压可以低一些。

今天在网上闲转，突然发现了这个帖子，帖子发布于2003年，可几年过去了，现在仍然有人在讨论，可见其生命力所在，特拿来与广大同好们共享。

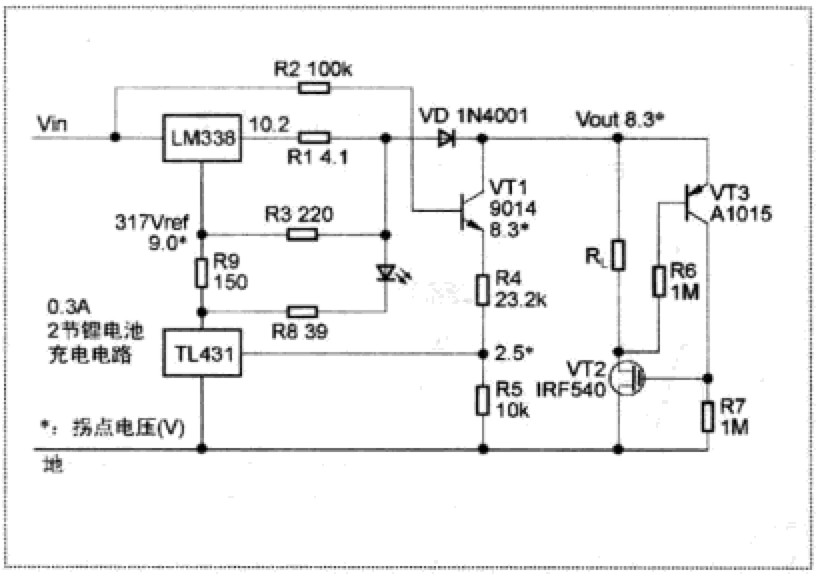


图1

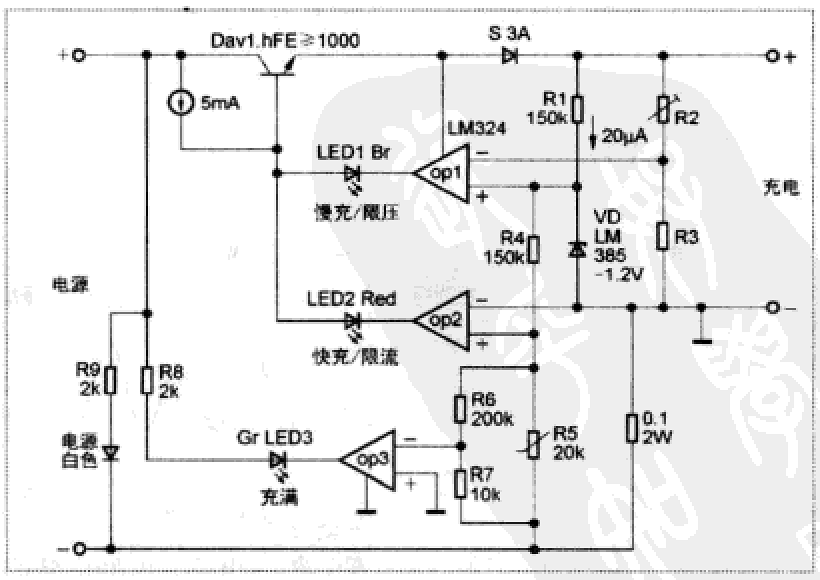


图2

<< 上一主题 | 下一主题 >>　118 1 2 3 4 5 6 7 8 >>　⇨回 复　⇨新 帖

简单可靠的锂电池充电方案

收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印

Georgefan：你好。我仔细研究过锂电池的充电要求，也研究过专门的IC芯片的说明。你的电路非常好，对于有保护电路的锂电池非常适合。但是，不知你注意到没有，一些长期不用的，或者没有保护电路造成过放的锂电池，在充电时，如果电压低于3V的，按要求，应该是以不高于25mA的电流进行充电，等电压上升到3V时，才能以大电流进行正常的充电。如果你的电路再完善一下，设计这样一个功能：如果电压低于3V，以25mA的电流进行唤醒充电，等电压升到3V后，再进行正常充电。这样一来，可以充没有保护电路的过放锂电池了，你说呢？在我分析过的资料中，MAX846A应该是功能设计最完善的充电芯片了。1. 充电电压已经被精确内置，不用再调整；2. 锂电池和其他类型的电池也可充；3. 有4个充电阶段，很鲜明；4. 外围元件也不多，但是贴片封装的，我现在手里还有5、6个，其中一个被我整断了一个管脚，业余条件下无法焊接了。

BG2VO：建议非常好，我会在后续的电路中把这个唤醒部分加进去。若没有这个功能，只有手工测量一下，不符合要求的就干脆剔除，或者手工改小电流来充（由于电流可调）。当然，正像有些人说的，电路将越来越复杂了。MAX846A的确很好，很正规。但除了业余条件下不好焊接外，不知道价格如何，是否容易买到？还有，这个电路不支持3节或更高的锂电池吧？

---

bg7icu：锂电池使用时是要保护板的，以免充爆和放死。有保护板充电就简单多了，充饱了、放到了就会停。

蔚泉：问题是给每一节锂电池安装保护电路的成本是多少，要花费多少时间去制造。10节锂电池×10个保护板，跟10节锂电池+1个恒流、恒压充电器比较，谁更容易DIY，谁花费的“米”最少，更容易DIY制造。当然放电保护是必须的，不然过放电后，锂电池差不多就报销了。

---

bg7icu：不是每节都要一个保护板的，是取一个整体的充满和放电的电压值的。其实常用的就一节、两节和三节的问题了，再多也是并联的关系而已。1~3节的保护板成熟便宜，1只8脚的双场效应管，1只5脚的控制IC，2、3只电阻，再加保险丝而已。

---

bg4jj：另外看待锂电池的终止充电电压，觉得4.2V、4.1V或者其他，没有太大意义，因为锂电池产品的一致性不好，所以不能串联充电，那么锂电池的终止电压也不见得完全一样，所以我觉得终止电压比4.2V低5%更好，将电池完全充到100%并不现实，在实际运用上也是没有必要的，这样的设计只会导致充电电路的复杂性，元件越多，元件的误差累计起来，将导致更大的误差，对于DIY来说是不可取的。所以如果图1的电路，能精确地控制截止点低于锂电池最高电压的5%，可以不考虑保护电路，终止电压设在4.00应当很保险了。

剑心：串联充电对每节电池单独检测电压，只要一节充满就断电，这种方法就够了。如果要求全部充满，全部放完的话，要N套充放电电路，而且充放电电路工作在大电流下，功耗问题要比检测电路麻烦得多。比如给每节电池并联一个4.2V稳压管的做法就只适合小电流充电。

BG2VO：有关电池保护板，按照功能分：1）有充电保护，只有一个VMOS管子，不能进行放电过流保护和放电欠压保护。常见于单节手机电池。2）有放电欠保护，只有一个VMOS管子，不能进行充电过压保护。放电过流保护靠保险丝，另外具备过热保护。以前老手机的2节18650的保护板就是这样。3）保护功能比较齐全，有两个串在一起的VMOS管，一个用于充电过压保护，另外一个用于放电保护。如果有采样电阻，那么就具备可恢复的放电过流保护。一般具备双重的过热保护：温敏电阻和过热保险丝。这样的保护板常见于笔记本电脑电池等，任何一节电池在放电时低与2.8V左右，就断电。4）具备充电均压保护的。这个比较难做，关键要正常情况下整体耗电不超过30μA。我还没见过成品电路。我自己设计了一个，想用于我的家用动力锂电池上。基本的思路是：谁的电压高就旁路谁的，大家电压都高就停充。这个电路需要大功率的散热片，我是想采用3节200Ah的，3个放电部分合用一个风冷散热片。

Sullivan：我也加了我的改进，说是改进，其实是变通，就是把那个控制充电电压的电阻换成了一个10kΩ固定电阻加20kΩ多圈电位器，这是因为该电阻的值因电路元件的性能不同并不是固定的，而且我没找到IRF540这个管子，找到的最小导通电阻是IRF530，为0.16Ω，所以必须要因实际情况来调整电阻的取值，因此用精密多圈电位器是最好的。而且我为了适合多充电电压的充电情况，就在旁边多加了好几个可调电阻，然后用一个选择开关来选择对应的充电电压，做这个电路，呵呵，还闹了个笑话，我查的PHILIPS的TL431的资料，结果人家是把引脚放下面，从上往下看的排列，我看成了腿朝上的方向。哈哈，换过来，就一切正常了，充我的两块带保护板的2300mAh的方块“炸弹”，一开始电流恒定在1A左右，睡了一觉起来，LED发光，充满了，取下来一量，标为每块3.7V的电池串起来的开路电压为8.33V，为了安全，我还把电池放在一个防爆盒里，用纤维板子盖着……整个电路就刚开始充的时候LM338 IRF530有点微热。那个控制电流的电阻，我是从交通指示灯的电源上拆的，看上去功率很大，但和普通的电阻体积没什么区别，就长一点而已，USA1.1Ω1% 一点都不热……2VO前辈，什么时候您再出一个保护板的电路吧，哈哈，我这里还有好几个圆柱的“炸弹”没保护板呢。

……

新器件试用台

用PCM2912制作高性能USB声卡

◎任杰

看到最近几期《无线电》杂志上有介绍USB接口音频DAC的文章，于是疑问：USB接口外置声卡的性能比起电脑内置声卡到底好在哪里？不亲自试一试还真是没有发言权，于是笔者开始在TI公司的网站上浏览相应的产品。经过几番比对，最终决定试试PCM2912，不仅因为它有较低的TDH+N，而且它的外围电路极其简单，封装也比较方便焊接。一开始笔者向TI公司提交了样片申请，但两次都被莫名其妙地拒绝了，于是只好去网上碰碰运气，在淘宝网上笔者买到了这款芯片。

芯片简介

PCM2912是一款USB接口的音频编解码芯片，与大家比较熟悉的PCM2900不同的是PCM2912内部集成了立体声耳机放大器和单声道话筒放大器，这就使得外围电路省掉了由运算放大器构成的低通滤波放大电路。图1为PCM2912的外形及引脚定义（来自TI公司的数据手册）。图2为PCM2912的典型应用电路。这里特别指出一点，芯片的第17脚为话筒的偏置电压端（约为$0.75V_{CCA}$），对于驻极体话筒，需要通过该引脚接一电阻为其提供偏置电压，对于动圈式话筒，则不需要使用该引脚。

元器件选择

尽管知道手工焊接0603封装的元件不好操作，但PCM2912的体积实在是太小了，如果搭配0805的容阻器，看上去很不舒服，于是笔者略微地将0603元件的焊盘增大了一些，尽可能地选用了0603封装的元器件。各元器件的选择详见附表。

C11、C15为两个3.3μF的退耦电容，也可以使用电解电容，只是贴片的钽电解电容比陶瓷电容要贵。两个输出耦合电容的容量尽量大一些，但大容量的贴片钽电解电容的耐压一般较低，这里笔者选用的是220μF，耐压6.3V，能够满足要求。发光二极管分别作为播放/录音模式的指示，可以选用两种不同的颜色。最后，考虑到开关和接插件经常需要插拔或拨动，为了使焊接更加牢固，笔者选用了直插形式的封装。

这里要特别提一下磁珠L1，在原理图中，笔者使用了电感的符号。磁珠L1与电感同样有高频滤波的功能，但是它的效果比普通电感要好，因为电感的感抗取决于电感量和信号的频率，为了使电感在较宽的频率范围内起到滤波的作用，要求电感量很大，这就使得电感的体积会很大，特别是电流较大的情况下。而磁珠却不同，它在相当宽的频率范围内能保持较高的阻抗，且体积很小。所以，这里在USB电源端与芯片电源端之间串入的是一个磁珠，而不是电感。

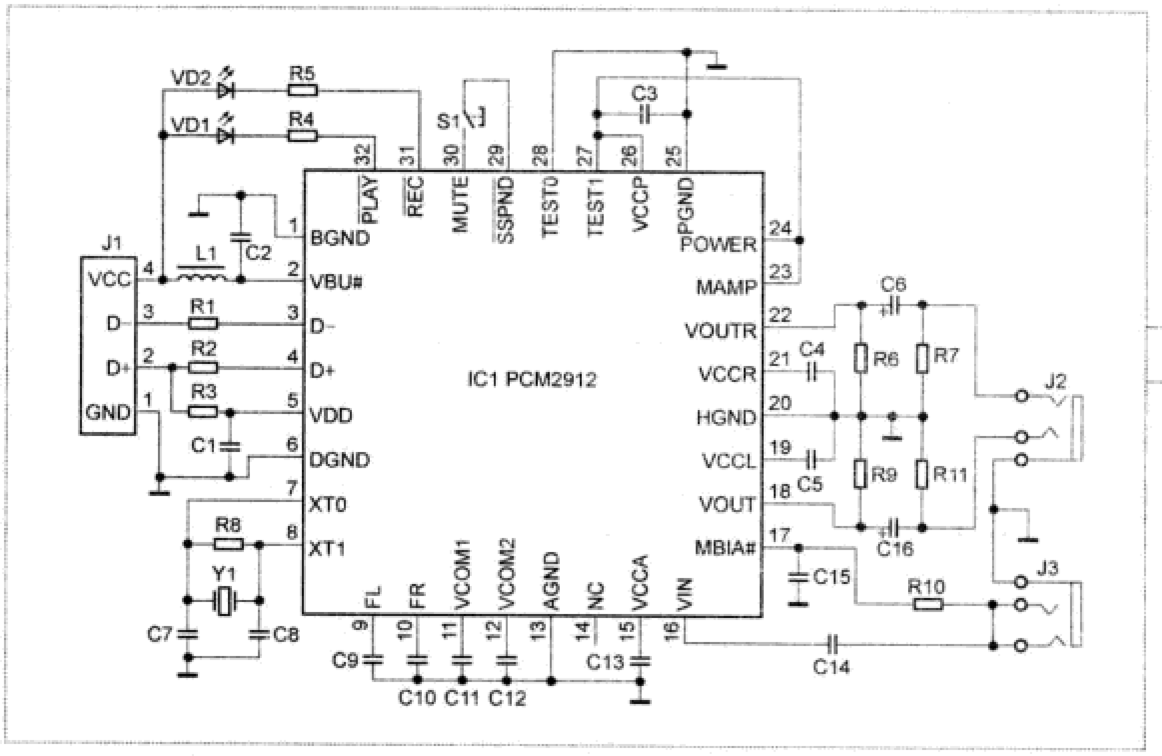


图1 PCM2912应用电路原理图

PCB的设计

电路不算复杂，但是输出音频信号的电路如果稍不注意，很可能会引入噪声，因此设计电路板时，几条基本的原则还是要遵循的。例如：

1. 退耦电容、晶体振荡器尽量靠近芯片；

2. USB两条数据线不要太长；

3. 音频输出线尽可能粗短；

4. 芯片底下不要走线。

再有就是接地的问题，这大概是所有音频电路的玩家最感兴趣的。在AB类功放（特别是大功率情况下）的电路板中广泛采用单点接地，而数字类的电路大多采用多点接地，这样做的原因也是各有各的说法。在这样一个既有模拟地又有数字地的小系统中，如果过多的考虑这些问题，不免让人头大，所以笔者参考了PCM2912评估板的布线方式，将所有元器件走线尽可能放在电路板的一面，另一面全部敷铜接地，并放置足够多的通孔，保证两面的“地”连接良好，这样不仅减小了接地电阻，并且能起到很好的屏蔽作用。笔者设计的PCB见图3，做好的电路板如图4所示。

焊接与使用

由于笔者将99SE封装库里0603封装的焊盘加长了，其他各个器件封装的焊盘也是根据数据手册或用游标卡尺精确测量后绘制出的，所以整个焊接的过程都比较顺利。笔者完成的声卡如图5所示。

附表

元件标号	元件类型	元件参数	元件封装
R1、R2	电阻	33Ω	0603
R3		1.5kΩ	
R4、R5		1kΩ	
R6、R7、R9、R11		3.3kΩ	
R8		1MΩ	
R10		10kΩ	
C1~C5、C13	陶瓷电容	1μF	0603
C7、C8		27pF	
C9、C10		100pF	
C12		0.1μF	
C11、C15		3.3μF	0805
VD1、VD2	发光二极管	红色/绿色	
C6、C16	钽电解电容	220μF/6.3V	7227
L1	磁珠	100Ω/100MHz	直插
YI	晶振	6MHz	直插
J1	USB插头	标准型	直插
S1	轻触开关	/	直插
J2、J3	体声耳机插座	/	直插

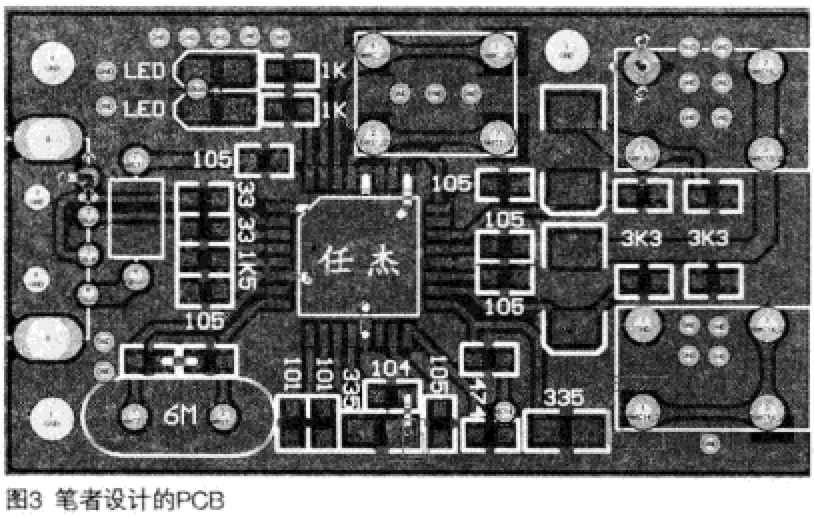


图3 笔者设计的PCB

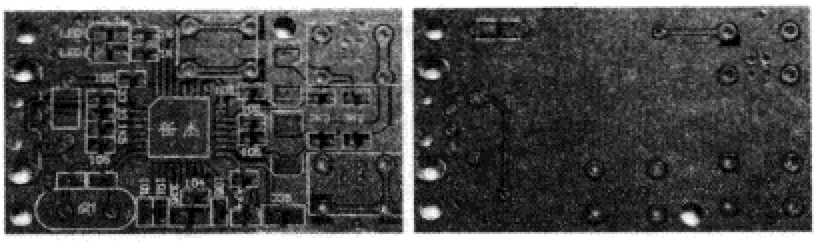


图4 做好的电路板

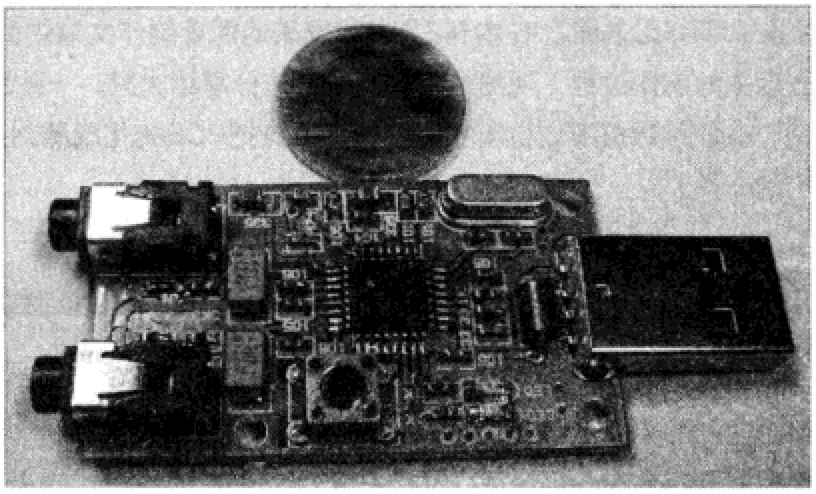


图5 焊接完成的USB声卡电路板

图6

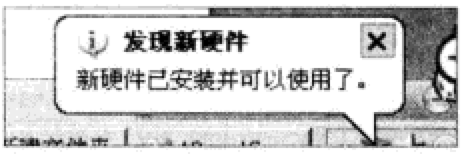


图7

焊接完成以后，笔者迫不及待地将自制的声卡插入电脑的USB口，在Windows XP系统下，屏幕右下角工具栏里弹出如图6的字样，接着显示出图7的字样。此时，说明USB声卡安装成功，可以使用了。打开“千千静听”软件，声卡绿色LED亮，指示正在播放。笔者急着插上耳机，想体会一下传说中高性能DAC的音质。没有令笔者失望，尽管只是很普通的入耳式耳机，但能明显听出这款USB声卡的效果要优于笔者使用的笔记本内置声卡，特别是在欣赏钢琴曲时，能体会出一种前所未有的细腻感。

接着插上话筒，打开Windows自带的录音机，这时声卡上红色LED亮，录了一小段，且不说音质怎么样，至少能用。笔者的笔记本不带内置话筒，外接话筒的插口也有些松动，平时聊天时用这款声卡是个不错的选择。

最后，笔者又在Windows Vista和Windows 7系统上试用了该款声卡，在这些操作系统下，它均能被识别并自动安装驱动程序，并且默认为优先使用的声卡。

这次的试用使笔者坚定地认为高性能USB音频DAC的效果要比一般电脑的内置声卡要好，尽管这种判断缺乏测量仪器的验证，有一定的主观性。笔者会继续进行这一方面的制作，请读者继续关注今后的文章。

教你生成雕刻PCB的刀路文件

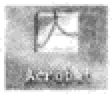
◎温正伟

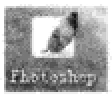
热爱电子制作的初学者，最头痛的恐怕就是电路板的制作。如果只是少量制作，把图纸送工厂加工显然不划算。电子爱好者通常会使用万用板，或使用热转印方法制作。现在有很多朋友们开始使用自制的数控雕刻机制作PCB或小工件，大大提升了业余制作的质量。在本刊2月号我发表的两篇制作文章中的电路板都是用雕刻机雕刻而成，近日收到一些读者的电邮询问一些相关的制作过程，现把这两种制作方法分享给大家。一种是直接用雕刻刀雕刻，另一种是用油性记号笔画图再用三氯化铁腐刻。在使用数控雕刻机制作PCB时，要先把PCB转化成雕刻控制软件所能识别的G代码文件，转换的方法很多，本文只介绍其中的一种。

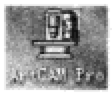
1 应用程序准备

此教程中用到以下4个应用程序，整个过程中并不需要你很熟悉这些软件，只要简单的几步就可以轻松完成。

Protel DXP：用于查看和编辑Protel PCB文件，这也是流行的电路编辑软件。


Acrobat：安装这个软件后会有了一个PDF虚拟打印机，用它来生成PDF文件。


Photoshop：用这个大名鼎鼎的软件转换PDF文件为BMP文件，并做一些编辑工作。


ArtCAM：使用它生成最后的刀路，并仿真查看。

2 生成PDF文件

步骤 用Protel DXP打开PCB文件，然后需要在软件中设置打印机（见图1）。

图中1是设置打印比例，我们要做1:1的电路板，所以要选1.00，如果要打印放大或缩小的图纸就可以在这里更改比例数值。在2中要选择Color，以方便我们后面的编辑处理工作。纸张类型不重要，只要比PCB尺寸稍大就可以了，这里我们可以用默认的A4纸。完成以上两步后，按3进行高级设置。在这里我们要做的PCB只有底面，所以在高级打印设置中只需要保留底层、机器层和边界层。由于后面我们要钻孔，所以要把过孔选项（Holes）打

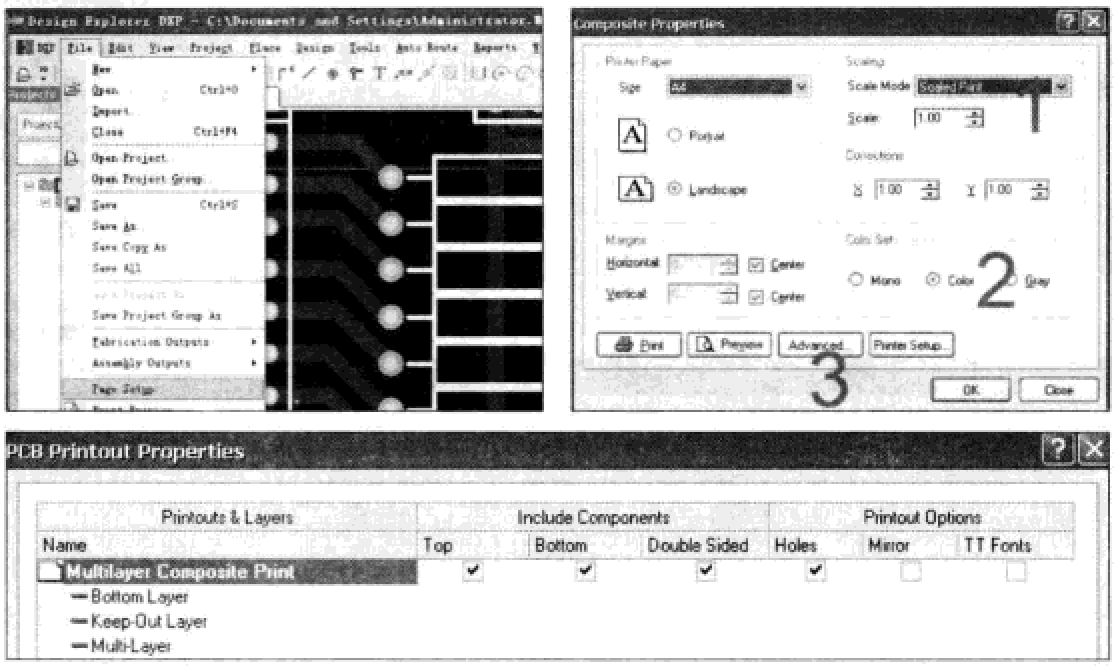


图1 Protel DXP设置打印机

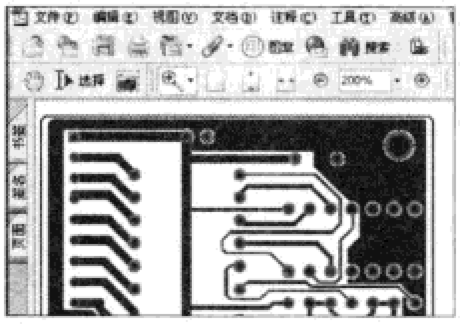


图2 Protel DXP生成PDF文件

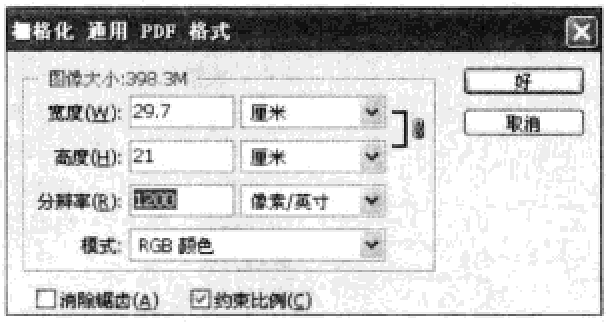


图3 Photoshop初始设置PDF格式

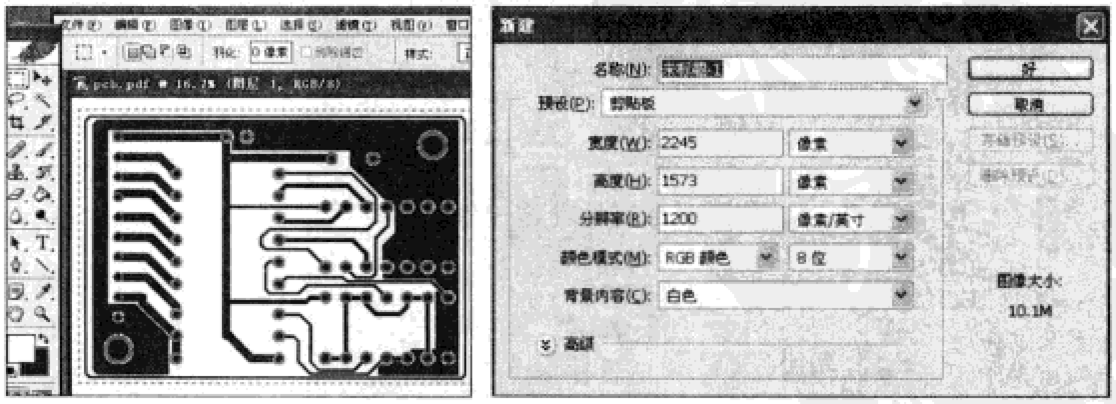


图4 Photoshop软件设置界面

开。各元素的颜色可以用DXP默认的，也可以自己设定。如果需要制作双面板的文件，要把2个面设成两页输出，不可以把2个面重叠打印在一页中。

点击打印，打印时可以选择PDF虚拟打印，打印生成PDF文件（见图2）。最好在PDF虚拟打印机设置中设置“高质量打印”。

3 步骤 编辑并生成BMP文件

用Photoshop打开刚刚生成的PDF文件，注意打开时要把分辨率设为300dpi（像素/英寸）以上，这里设为1200dpi，这个数值越大，图像就越精细，但文件也会越大，可以根据实际需要选定。“消除锯齿”可以不选。

用油漆桶工具把透明背景填充白色→再用选择工具选择稍大于PCB的区域→按Ctrl+C复制→按Ctrl+N新建→在弹出对话框中直接点击“好”，生成新的文件，如图4所示。

下面开始编辑图片。因为这个PCB在画图时，边界线画得太细，而笔者又没有足够细的平头刀，所以要把边界加大点，好让尖刀可以生成切边的刀路。用边界线色填充最外边的白色区域，用不同的颜色填充不同直径的过孔，但不要和其他元素的颜色一样，此举的目的是为了能在后面生成钻孔路径。因为我们现在做的是单面的底面板，所以要把图片垂直翻转一下，最后编辑图如图5所示。

最后在 PhotoShop 菜单中选择“保存为”，保存成 Windows 格式的 BMP 文件。

4 步骤 生成刀路

打开ArtCAM7.0，在文件菜单选项中打开刚刚生成的BMP文件。弹出图6所示的设置尺寸对话框时，我们使用“扫描dpi”，填入“1200”。这是因为我们刚才是使用这个分辨率生成BMP文件的，如果不一样，会造成尺寸不一致。原点的选择则可以根据自己的机器或工件的实际情况。

首先我们要把不需要铜片的地方刻去，双击图中白色的地方，弹出对话框（见图7），点关闭，这时软件选取了所有白色的区域。

按图8中的方法把白色区转为矢量。然后选择图9的刀具路径中的“凹进特征”，当然这里也可以使用其他加工方法。下面设置这个特征的参数（见图10）。这里我们只需清除掉白色区的铜皮，只要将深度设为0.2即可。

产生特征后，我们就要生成这个特征的刀路了。按图 11 和图 12 分别进行设置。在图 12 中，1 是要加工的特征，2 是因为这部分要清除点，所以选“区域清除”，3 是选择合适的刀具，这点很重要，刀的最小切削量要小于 PCB 的线与线间最小间隔，4 是材料的

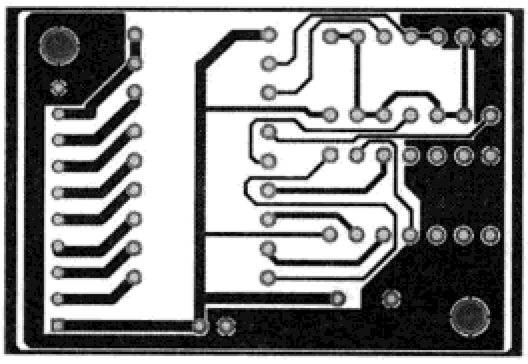


图5 编辑好的PCB图

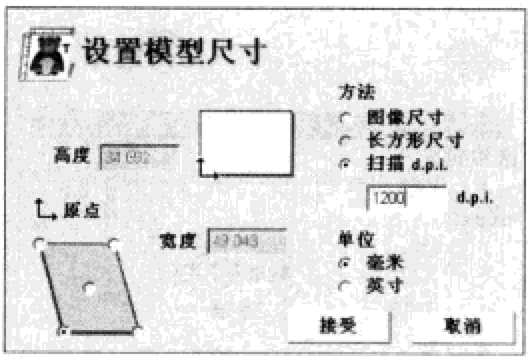


图6 设置模型尺寸对话框

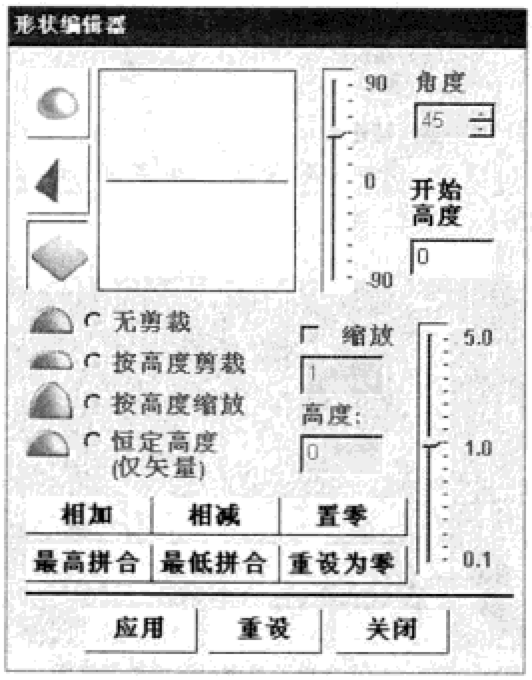


图7 形状编辑器对话框

图8 矢量设置

图9 刀具路径设置为“凹进特征”

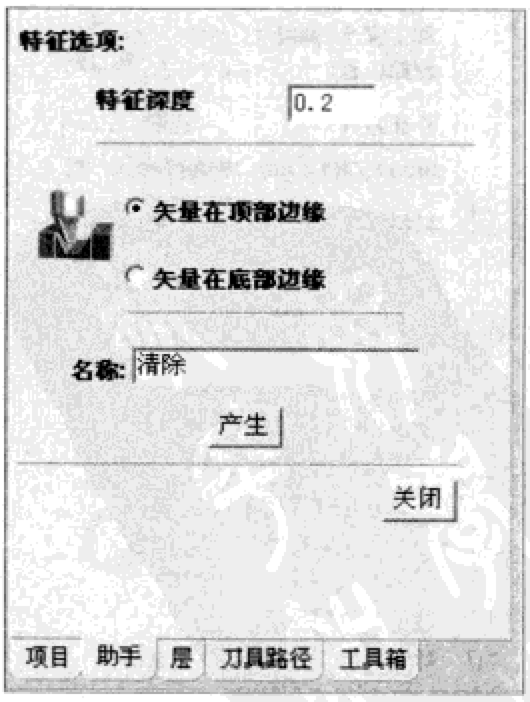


图10 设置特征参数

图11 刀具路径设置为“特征加工”

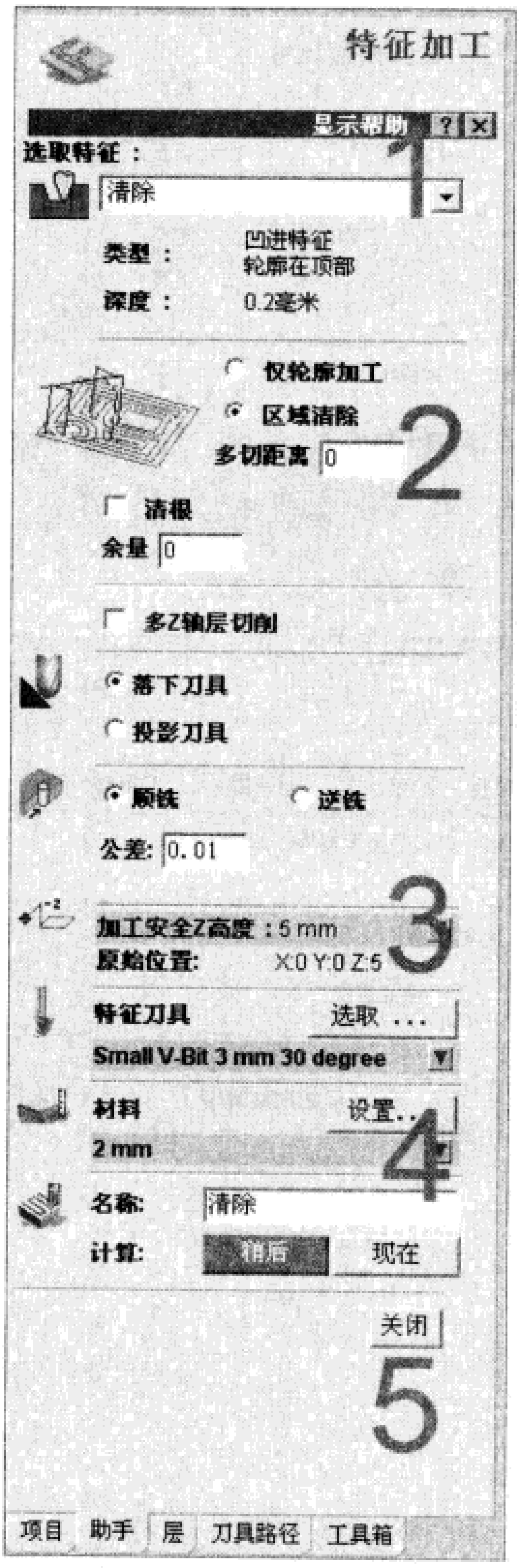


图12 “特征加工”设置

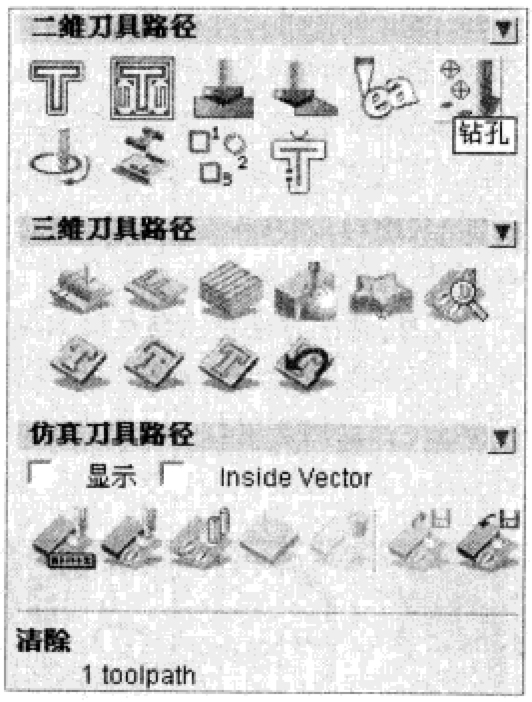


图13 选择钻孔

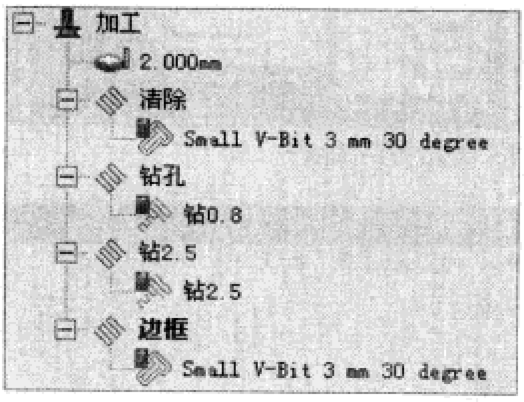


图15 “项目”菜单

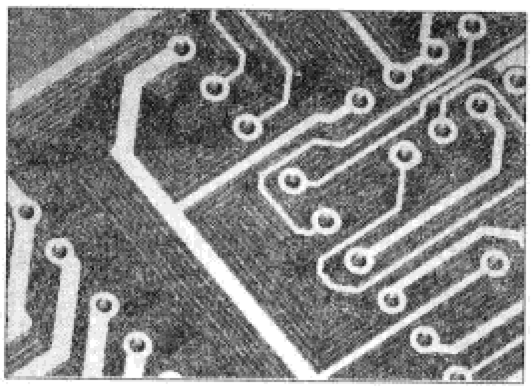


图16 选择“仿真全部刀具路径”的查看结果

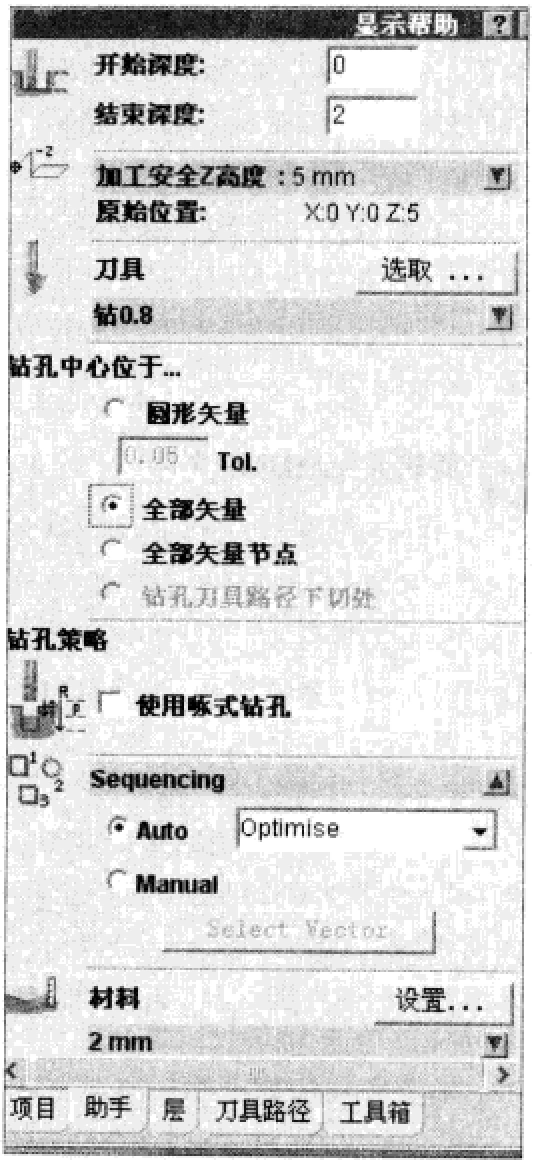


图14 设置钻孔

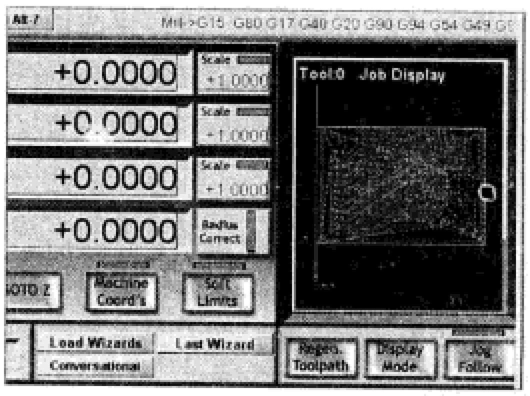


图18 在MACH3中使用刚生成的刀路

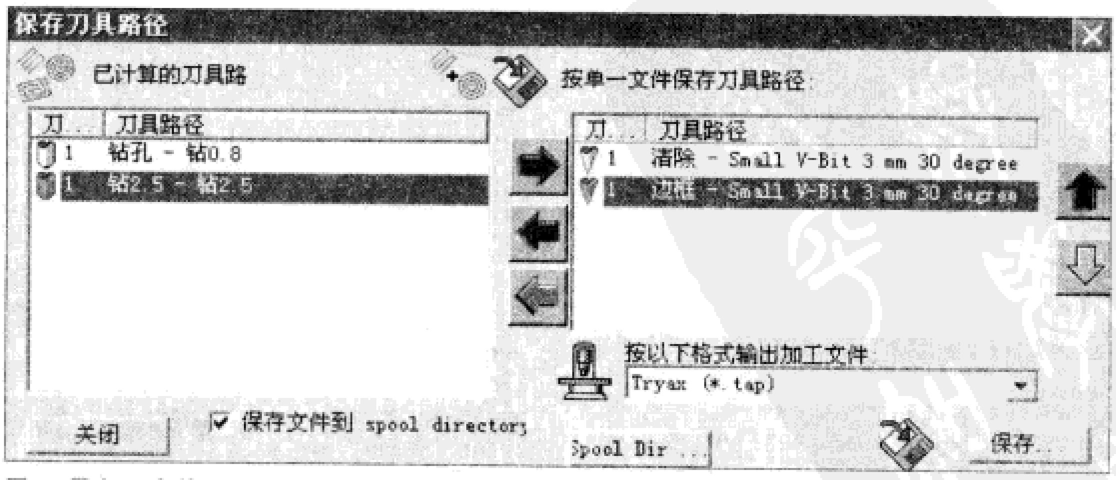


图17 导出tap文件

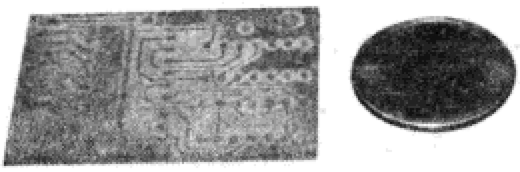


图19 雕刻后的没有钻孔的实物图

设置，按自己的板材设置即可，5就是生成刀路了。

按上面的方法选择绿色的过孔并生成矢量。按图13选择钻孔，按图14的参数设置钻孔。要注意的是，钻孔中心应该设置为“全部矢量”，因为有一些圆圈可能不能被ARTCAM识别。再有就是要选择合适尺寸的钻头，计算后生成钻孔路径。

在这里只说这两项的方法，切边和另一个直径过孔按上述方法去做即可，只是尺寸不一样。在设置刀具和路径参数时，要根据实际的加工需要去设置。太小的步距参数会使加工时间变得更长，太大又不能满足加工精度，这就需要靠实践经验去选取。在设置参数后也可以用仿真方法来评估项目的设置是否得当，并参考对其做出修改。

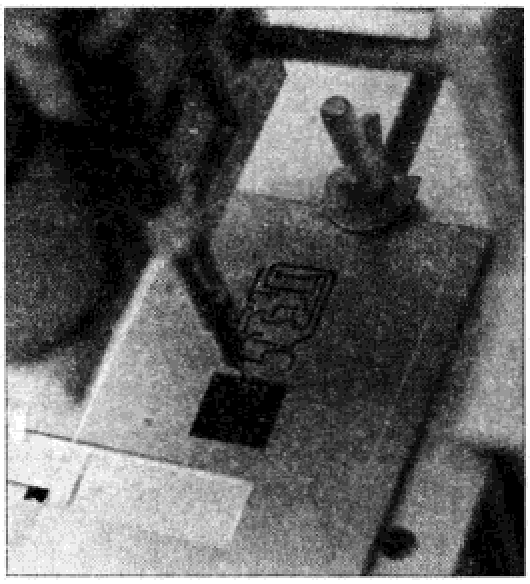
5 仿真和导出刀路

在图15的“项目”菜单中，可以看到所有的加工路径。我们可以在“刀具路径”菜单中选择“仿真全部刀具路径”来进行仿真查看（见图16）。

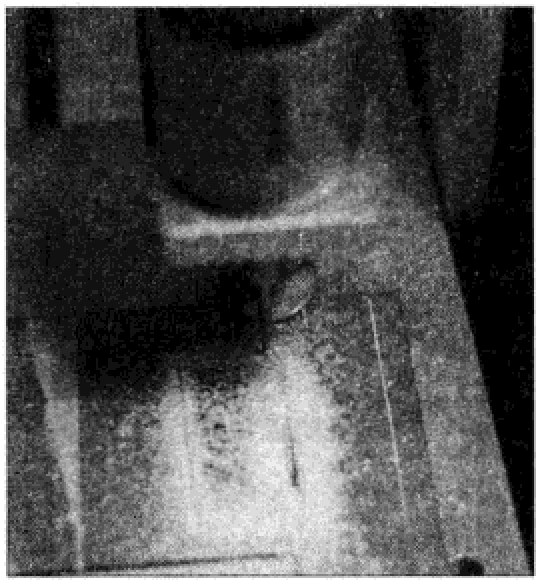
在“刀具路径”菜单中选择“保存刀具路径”就可以导出刀路文件（见图17）。生成的tap文件可以直接输入到MACH3软件。注意，有时会在第一行产生一句“:1248”，MACH3使用时要用文本编辑器删掉这一行。也可以生成MACH3专用的MACH＊.cnc文件。注意，有厘米及英寸2种格式可选。图18是在MACH3中使用刚生成的刀路。这里也可以根据需要输出其他格式的刀路文件。图19则是雕刻后的没有钻孔的实物图。

PCB的另类制作

使用雕刻刀刻PCB是比较困难的，因为爱好者使用的自制或购买的简易雕刻机精度有限，再加上要克服PCB覆铜板的不平和主轴刀具的跳动等。如果使用的主轴噪声过大也是个头痛的问题。我使用的这种方法是结合了热转印及雕刻的优点，把油性记号笔直接安装在雕刻机上（使用带弹簧的安装夹具效果会更好），以绘图的方式直接在覆铜板上画图，在要保留铜片的地方画上一层油墨层，然后根据需要切边和打孔，最后用三氯化铁溶液腐蚀。这种方法在绘图时不会有直接雕刻的噪声，也不会因为板不平而导致刻得深浅不一。使用普通的记号笔可以画0.7mm左右的线宽，使用市面最细的0.4mm记号笔可以画0.5mm左右的线宽。在使用三氯化铁溶液腐蚀时，应尽量加高水温并让水流动，使腐蚀尽快完成，因为记号笔的油墨在溶液中不可能长期存在。这种方法虽然没有用激光打印后再转印方法的精度高，但胜在简单方便，在普通的电路制作中还是可以满足需求的。

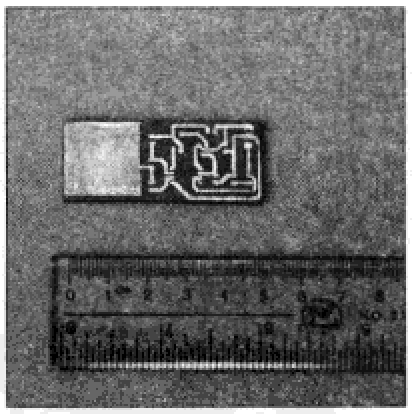


绘图

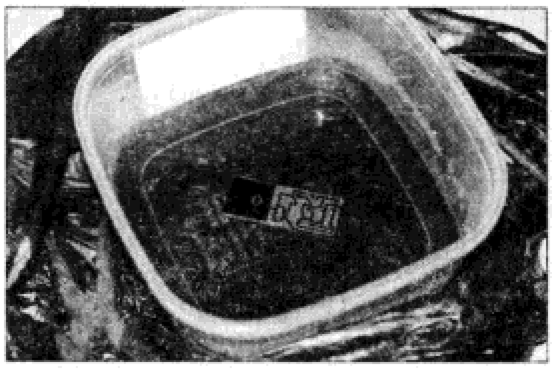


切边

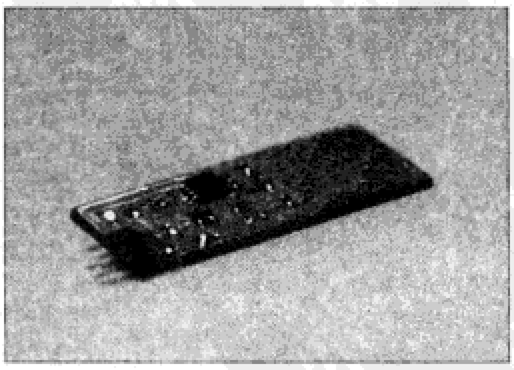
画好的板



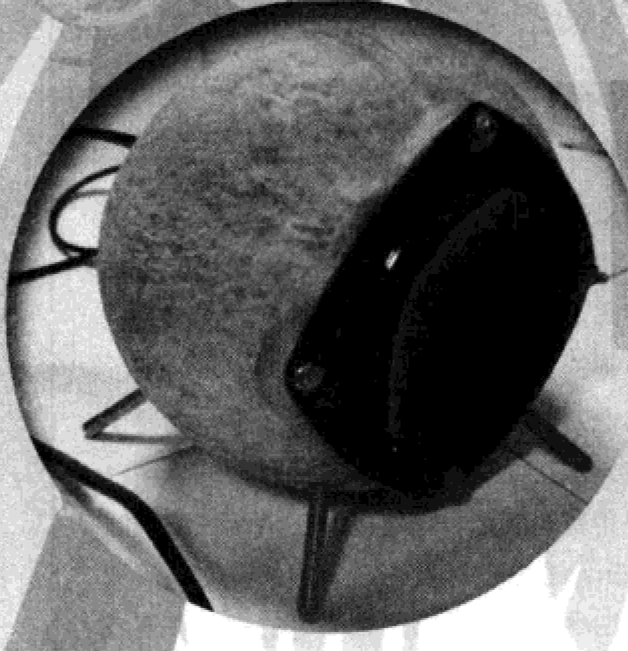
完成



蚀刻



焊上贴片元件的板子



创意制作

前阵子买了一个椰子，看到椰子坚硬的浑然天成的球状外壳，不舍得把外壳敲破，于是小心翼翼地用手锯从上端锯开，锯出一个盖子，剩下的部分成为一个开口球碗，见到坚如磐石的椰子壳，突然萌发了利用它进行电子DIY的想法。思量许久，决定DIY一个椰子音箱，这样既简单又实用。

自然体验——椰子音箱

◎杜灿鸿

说干就干，椰子壳开口大约有8cm，装一个3英寸（约6.8cm）的扬声器刚好。从椰子壳的大小来看，由于椰子壳体积太小，导致阻尼不够，因此功放输出功率不必过大，太大会使扬声器的纸盆抖动，低音效果会很差，并会影响整体音效，因此功放电路的功率只要3W就足够了。

简洁阔气的BTL功放电路

输出为3W的功放电路极多，笔者对这个椰子音箱的功放电路的定位就是：只要起到功放效果就足够了，并不需要其他如音调之类的附加功能。因此希望电路越简单越好，单电源供电的BTL电路便是极佳选择。笔者使用的芯片是电视伴音功放佼佼者——TDA7056芯片（见图1）。

TDA7056主要用于电视、显示器的BTL伴音功放，只需极少的外围元件便可工作，支持外部DC电压控制音量、静音、输出短路保护、温度保护和引脚ESD保护，工作电压范围为4.5~18V，典型输出功率为3W，最大输出功率为5W。该芯片主要亮点在于其DC控制音量的功能上，典型应用如图2所示。

几乎不需要外围元件，芯片5脚的直流电压就可控制放大器的增益。当不需要音量控制时，可以把5脚悬空，此时增益为35.5dB，约60倍。

如需要进行音量控制，最简单的做法如图3所示，在5脚上下拉一个100kΩ的可调电阻，当5脚电压越高（即电阻越大），增益就越大，反之亦然。其增益可调范围为-50～30dB。相对于直接用电位器改变输入信号的大小，DC音量控制有更高的信噪比，而且容易实现数控，可以用于某些特殊应用场合。

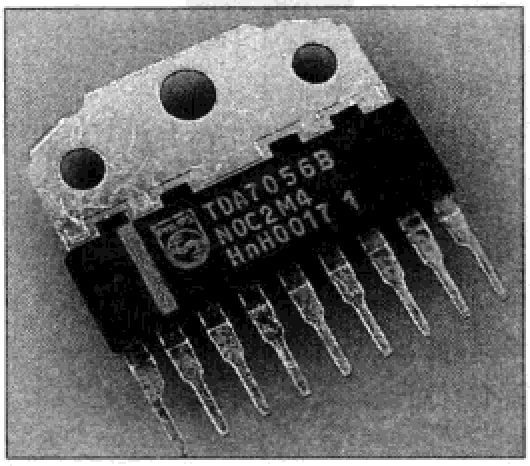


图1 TDA7056B

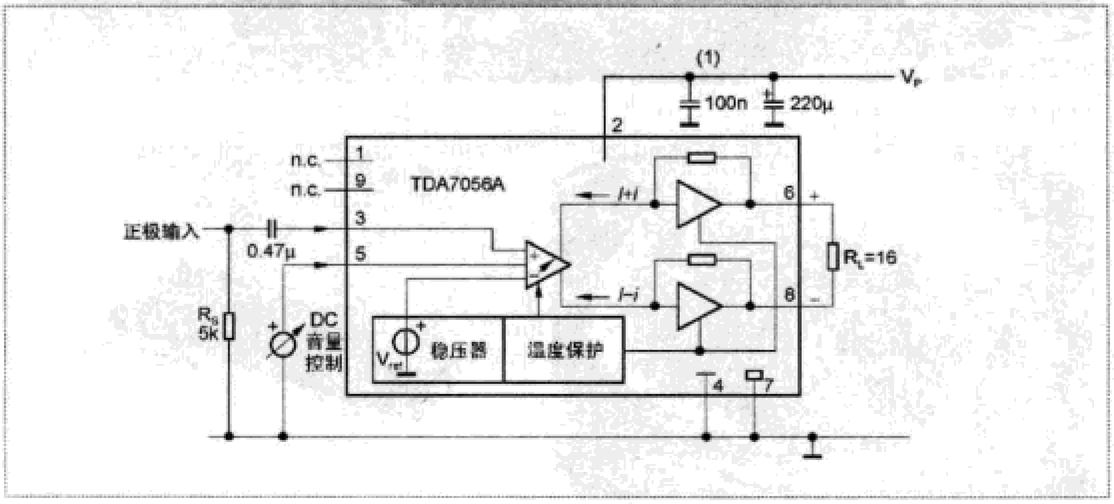


图2 TDA7056典型应用电路图

应用该电路时，首先要降低输入电阻，图2中的Rs改为47~680Ω，耦合电容适当增大，将0.47μF改为2.2～10μF。接入扬声器后如果出现振荡，可以在扬声器两端并上10Ω+0.1μF的“茹贝尔”网络。

在本例中，笔者选用的扬声器为4Ω，并确定工作电压为9V，不使用音量调节（直通结构，更加简洁，加工方便）。初步确定功放电路图如图4所示。

在图4（A）中，注意信号输入端3脚。本来应该制作2个相同的功放，做成左右声道的效果，但我对立体声听音并不挑剔，因此制作成单声道。Lin为左声道音乐信号，Rin为右声道音乐信号，它们通过C2、C3耦合到芯片3脚，简单地“混合”到同一声道中去。

另外还要注意的是TDA7056的接

地引脚有两个：一个是功率地，一个是信号地。一般来说，功率地流过大电流，主要和后级电路共地，这里就只有电源输入地。信号地要避开大电流区域，防止回馈干扰，一般和前级连在一起，这里就只有输入音频信号的地。画PCB过程中这两种地要分开来画，整板布线基本完成后，再合理地接到一起。

在图4（B）中，变压器使用220:9的9V输出变压器，整流滤波后经TDA7809恰能输出9V电压。考虑到输出5W，加上损耗3W，变压器应选择8W额定功率的变压器。

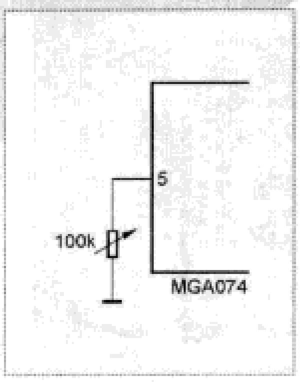
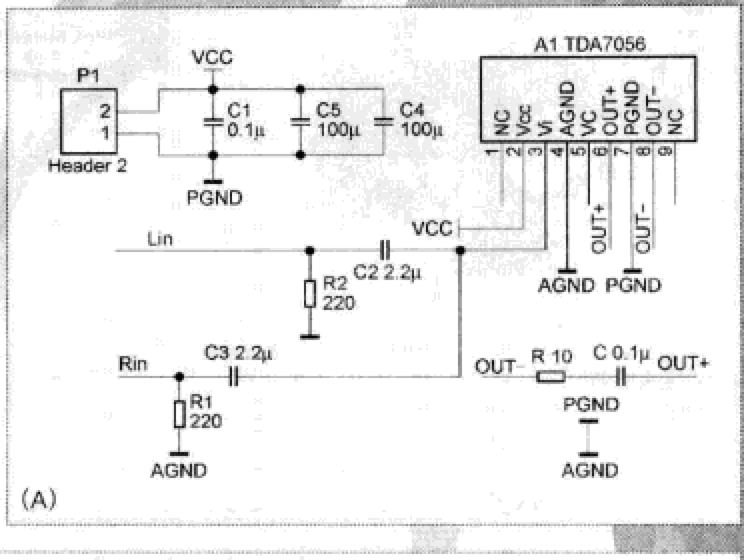


图3 DC音量控制



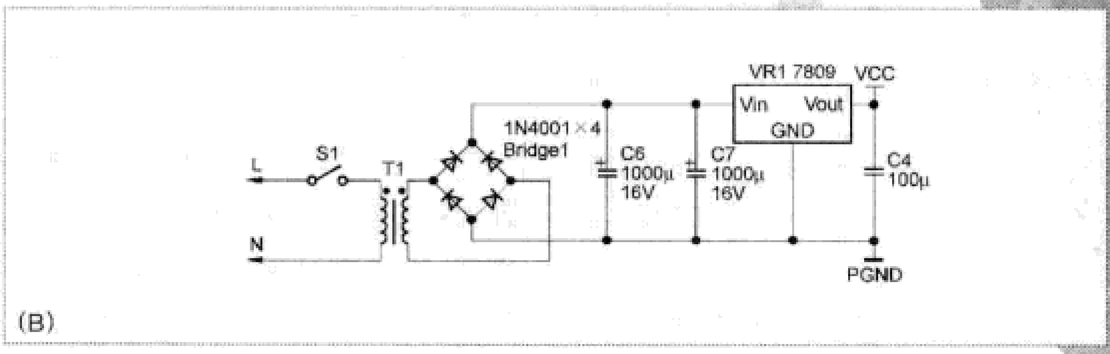


图4 功放电路（A）和电源电路（B）图

制作过程

1. 制作功放板

电路比较简单，可以在万用板上进行焊接，也可以自制PCB。我自行制作的PCB见图5，图中没有画出整流滤波部分。焊接过程中先焊电阻电容，最后才焊芯片，有条件的情况下，可以为TDA7056装上一个小散热器。因为输出5W时，TDA7056的耗散可能会达到3W，发热量还是比较大的，最后引线，实物如图6所示。

可能有人会发现7809的安装有点怪，因为那个7809是后来才加上去的，后来调试的时候发现1000+1000+100+100+0.1μF的电容，

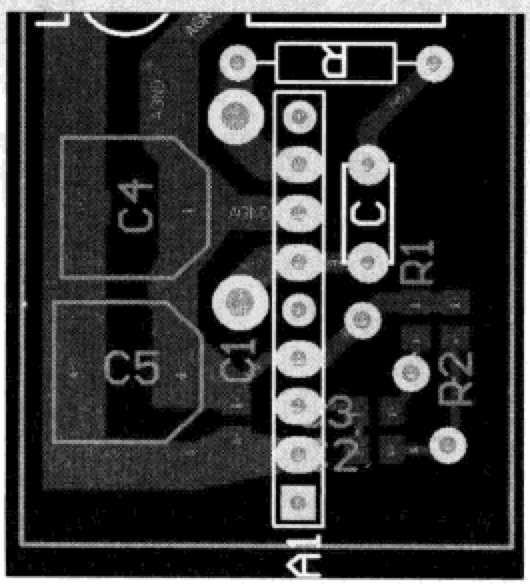


图5 PCB图

制作迷你型功放的误区

值得一提的是，对于这种迷你型功放系统，最重要的指标就是信噪比和主观听感，不要过分追求指标，受Hi-Fi影响。个人认为人们对迷你型功放有几个误区：

误区1：低频响应要越低越好

其实不然，迷你型功放音箱的低频响应是很差的，在100Hz时衰减已经很大了，更别提50Hz以下了。虽然我们能制作一个低频截止频率20Hz以下的功放电路，但要付出更多代价。而且，过大的低频激励电压加在一个迷你型音箱上面，由于低频阻尼不够，会使扬声器的动圈超量程运动，直接使整个音质变差，适得其反。

误区2：输出功率越大越好

Hi-Fi功放有一种做法，就是用大功率功放降额驱动小功率音箱，用以获得高音质。但在这种迷你型应用场合，为了简洁和便携，输出功率足够就行。要获得好的音质，不妨设法改善中高频的响应和改善信噪比。

误区3：电源用一堆“大水塘”

大功率功放系统的电源基本上都是大功率环牛+大容量电解电容构成的，目的是获得高稳定度。在这种小功率的应用中，最好的方法是采用普通整流滤波（一般9V输出，1000~2200μF足矣）后，再加一级78xx系列进行稳压，牺牲一点点效率换来了高稳定度电源，又缩小了电路体积。或者就直接采用电池供电，这样噪声就更低了。

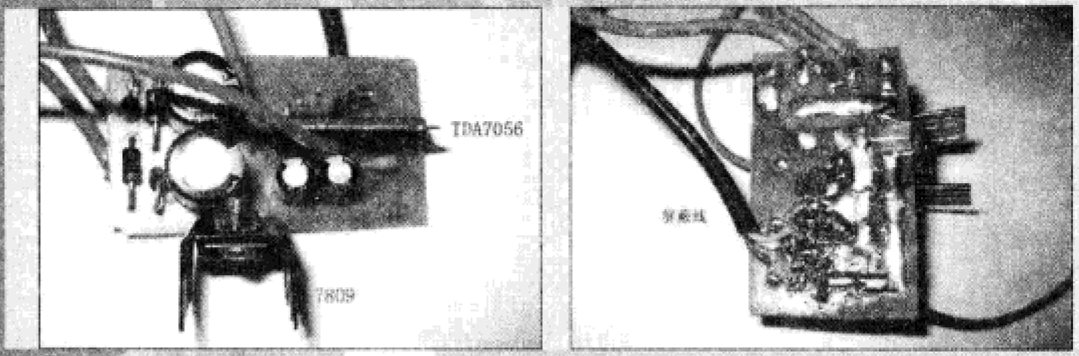


图6 焊接好的电路

图7 屏蔽线接法

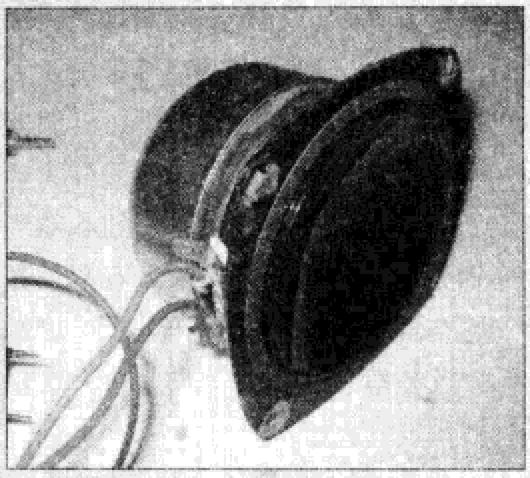


图8 本制作使用的扬声器

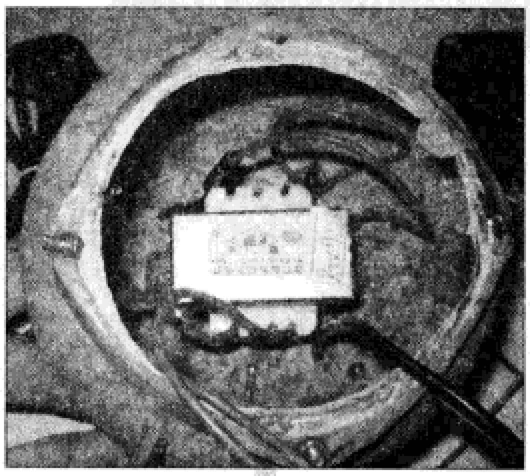


图9 变压器安装在椰子壳后部

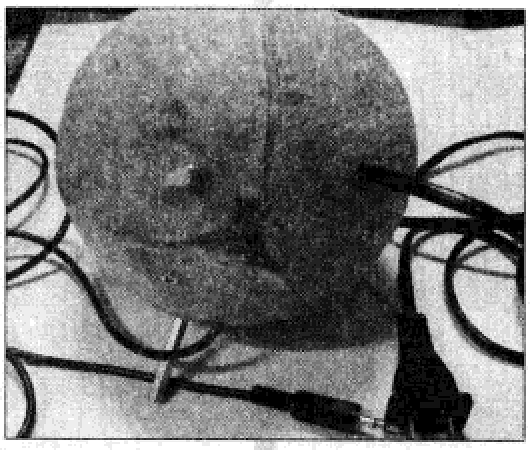


图10 背面打3孔，装电源开关、电源线、音频线

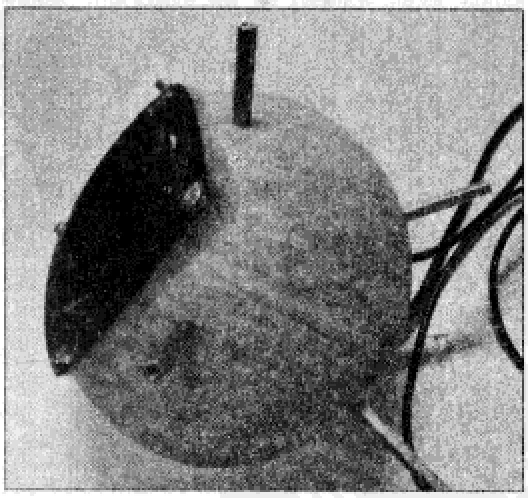


图11 装上3cm长的铜柱“脚”，装上扬声器

滤波效果仍然不够理想，静态时仍然听到交流声，故割开PCB焊上7809，完全消除了交流声。

音频输入线采用屏蔽线。正确使用屏蔽线能大大减少线路感应干扰。屏蔽层必须接地，而且只能单端与信号源共地，即屏蔽层接音源的地线，屏蔽层的另一端要悬空（见图7）。

2. 功放板调试

功放板连接无误，上电即可工作。最好是串联电流表10A量程上电，上电时发生短路可及时断开电源，防止烧片。

上电后测量滤波两端静态电压，应该在0.1V才算正常，此时可以接上扬声器。这里用4Ω扬声器，我挑了一个看起来比较靓的（见图8）。其纸盆直径约7.5cm，防漏磁设计，并且纸盆为流线凹形，比较有风格。

耳朵贴近扬声器，才能听到微微的静态噪声，如果听到较大100Hz的嗡嗡声，证明电源滤波仍然不够好，检查7809的电路。一切正常后输入音乐信号，应该就能初步享受DIY的乐趣了。

3. 整体组装

接下来要把变压器、功放板和扬声器都装到椰子壳里面去。加工椰子壳是制作过程中难度最大的一个环节：首先，椰子壳比较硬，必须用高速电钻打孔；其次，椰子壳呈不规则圆形，必须合理放置变压器和扬声器相对位置，否则重心不稳。笔者把变压器放置于椰子壳后部而不是底部，用于平衡放置在前部的扬声器，然后在底部装4个铜柱，整个音箱便可以稳定安放。如图9~11所示。

扬声器的安装比较麻烦，可以采用1.5cm长的螺栓，在外壳上打4个孔加以固定。扬声器固定时肯定会产生缝隙，这对低频响应极为不利，必须填补缝隙让箱内密不透风。我用黄蜡作为填充材料，把缝隙填补得严严实实的。如果有条件，也可以在椰子壳内部填充吸音材料，能进一步加大低频阻尼，改善低频响应。

结语

这样一来，一个颇有风格的椰子功放就完成了。接上220V电源，耳机插头接上MP3，便可尽情享受这个小小椰子的威力了。虽然功放输出功率只有5W，但输出3W时就已经很有震撼力了。不过，如果输出功率增大到4W左右，由于箱体比较小，低频阻尼不够大，纸盆振幅过大会导致低频失真，听起来就如“轰轰”声，这验证了小型音箱的低频激励功率不可过大的观点，不过3W的功率也已经很足够了。

<< 上一主题 | 下一主题 >>　　118 1 2 3 4 5 6 7 8 >>　　⇨回 复　　✧新 帖

讨论征集ICL7129驱动LED方案（摘自www.crystalradio.cn论坛）　　收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印

整理：草音
加入日期：2010-03-18
帖子：666

ICL7129四位半数字表芯片从性能上看要比ICL7135好得多（可以方便使用比例法测量电阻），但是只能使用液晶屏，虽然省电，但寿命、亮度方面比LED要差很多，这种专用液晶屏不但难以买到，而且价格不菲。有很多玩家手中的万用表液晶屏坏了，整块表就宣布报废，实在可惜！近日在美信申请到2块ICL7129的芯片想用其制作一台台式表，使用LED做显示，但不懂得其驱动方法，特开此贴征集方案，请各位玩家各抒己见，畅所欲言！（cjzzxj009）

harbyn：用ULN2003或2083推动。

Zichenxz：其实，我更倾向于用独立元件制作，比较好理解。如果采用三极管驱动，需要几级放大才能将电子表输出脚到公共端的信号放到大足够驱动LED？是不是前一级一定要用场效应管？

翌阳：三级就行。第一级基极串一个100kΩ的电阻，管子用9014，共13个。第二级作反相用，基极接第一级的C极，并接100kΩ电阻到电源。用9014，共11个。第三级基极串一个1kΩ的电阻，接在第二级的C极上，管子用9015。集电极串联100Ω电阻接LED。这一级要参与译码，管子数量是第一级段电极的2倍，共22个。属于相同背电极的管子发射极连在一起，还有2个是背电极的信号，第三级的C极接2个9015，放大背电极的信号，对应的背电极信号的C极接上面的相应发射极汇集点。LED用共阴的。

再说明一下，由于LCD扫描的频率并不高，好像是32Hz，所以显示会有点闪烁。如果用LED管自己做显示屏，则可以省去译码，直接按LCD屏的接线方式把各段连起来就行了。但好像还是用三级放大好些。每个段取1μA的电流，放大到至少10mA，这样是10000倍，虽然用二级90系列的管子也可以，但感觉最好要能选出放大系数在100倍以上的，9014没有问题。背电极电流大些，至少得3级才好。

---

cjzzxj009：这种芯片是3个背电极，驱动比较复杂。

Fengdongshi：把7129的显示驱动信号直接放大，然后驱动自己用贴片二极管做的数码管就行了。还有一种方案就是用8片CD4030异或门来解码LED的笔段信号，4030是四异或门，7129的“个十百千”共28段，加上万位1段，极性1段，共计30段，这样就可以来驱动通用数码管了。

Mon51：7129如果采用双积分转化，并有转化完毕信号输出，就可以用单片机来捕捉，利用单片机内部的定时器计数代替7129内部的积分计数，精度还可以！LED输出就由单片机控制，非常简单。

Fengdongshi：液晶的驱动肯定是相应笔段有电压才能点亮，3个背电极的作用只是借用动态扫描减少输出引线，实际等同于键盘的矩阵扫描，只不过液晶是靠交流方波驱动而已。异或门的作用就是检测任意笔段与背电极的电位差，将其锁定为固定的高电平。7129的这种多背电极动态扫描法，还是比较多见的，并非首创。用异或门转化电路并不复杂，只是同一电路的重复、重复、再重复而已。

---

nnn2688：经过两个多月业余时间的分析与试验，3个背电极的LCD改造LED显示已获初步成功！前些年，翌阳老师曾经改造过两个背电极的电子表，利用电子表芯作为信号源，用74HC373锁存器改造成功了电子表的LED显示。但3个背电极的LCD屏多数为1/3偏置，输出波形比较复杂，很难直接用74HC373锁存到正确的电平，所以改造难度比较大。根据翌阳老师的经验，同时多处查找资料，经过仔细分析，基本上弄明白了1/3偏置LCD驱动的原理。它是通过各种不同波形组合来实现的，类似LED的动态扫描驱动形式。但与LED不同的

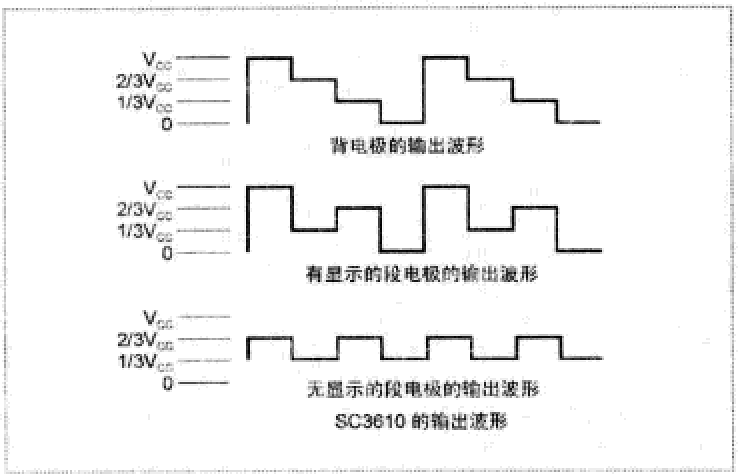


图1

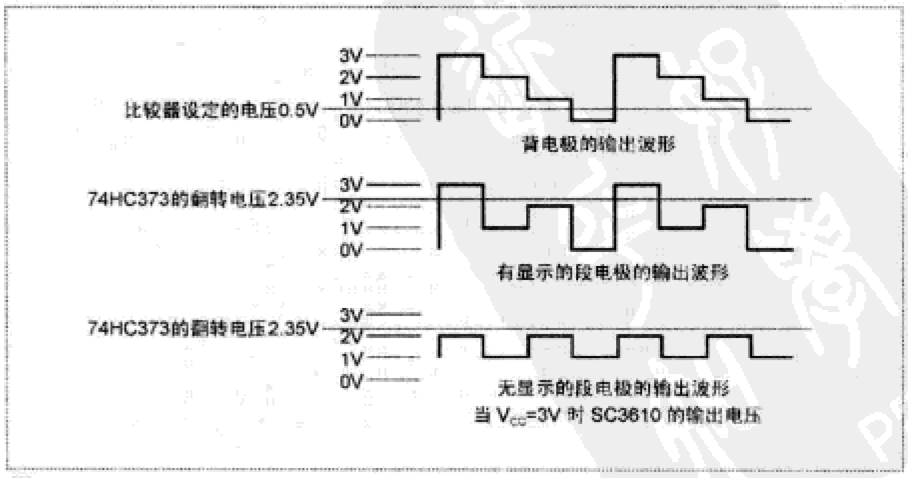


图2

<< 上一主题 | 下一主题 >>　118 1 2 3 4 5 6 7 8 >>　回复　新帖

讨论征集ICL7129驱动LED方案（摘自www.crystalradio.cn论坛）　收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印

是，LCD是交流驱动的，也就是说，当某一段亮起来的时候，有可能是段电极为高电平，背电极为低电平，也有可能段电极为低电平，背电极为高电平；当某一段不亮的时候，有时段电极为2/3电平，背电极为1/3电平，有时段电极为1/3电平，背电极为2/3电平（见图1）。

如果我们想利用它，就只能锁定其中的一种情况。因为我手上只有共阴极数码管，就要找到某段亮起来时段电极为高电平，背电极为低电平的状态。经过试验，当工作电压为5V时，74HC373的翻转电压大约为2.35V，而SC3610的工作电压最高为3.3V，当SC3610的工作电压为3V时，它输出的高电平大约也是3V，它的2/3电压大约是2V，它的1/3电压大约是1V，它的低电平是0V左右，我们只要取出它的高电平就行了，正好74HC373的翻转电平在SC3610的高电平与2/3电平之间！可以保证74HC373可靠地翻转并锁存（见图2）。

而背电极的提取就相对麻烦一些了，因为74HC373的使能端是高电平有效，但我们需要锁存的是SC3610的段电极的高电平信号，而与之对应的背电极就一定是低电平，所以在这里采用了一个比较器LM339N（本来要用LM324的，但在我的破烂堆中没有找到，只找到了一块过去煤气报警器的板，上面有一只LM339N，它是OC输出的，用起来要比LM324麻烦一点，就是要在每一个输出端接一个上拉电阻，图中那3个1.2kΩ的就是）。将比较器的同相输入端接一个固定的偏置电压，大约是0.5V，SC3610的3个背电极接到比较器的三个反相输入端，这样就可以准确地找到背电极的低电平，使之输出为高电平去控制74HC373的使能端了。到此为止，从原理上讲这个电路就可以工作了，但实际上并不能正常工作，经分析，发现背电极的低电平宽度要比段电极的高电平宽度略宽一些，导致74HC373无法正确的锁存到高电平的缘故，为此我又加了一个微分电路，将比较器的输出脉冲弄得窄一些，变成了一个个的尖脉冲（见图3）。这时，整个电路（图4）工作正常，改造成功。

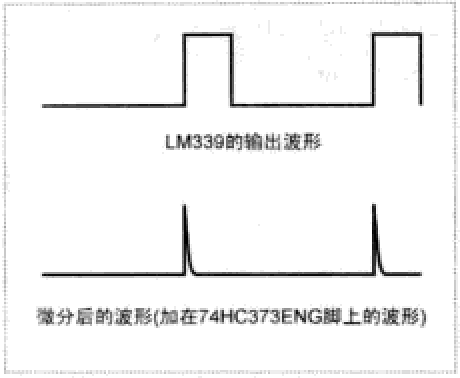
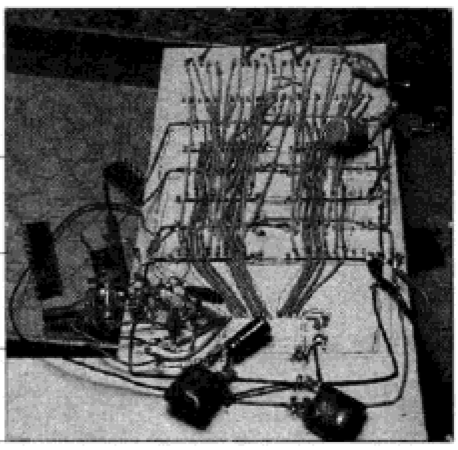


图3



Georgefan：也可用此思路改造数字表头了。

清风无痕：这个过程还是真复杂，佩服你的耐心。如果是我，早不知道中断了多少次了。

qqww121：够有耐心，辛苦了！以后可以把显示屏损坏的高档表改造成LED显示了。

f02：佩服，这技术含量高，比用单片机直接做数字钟要大得多……

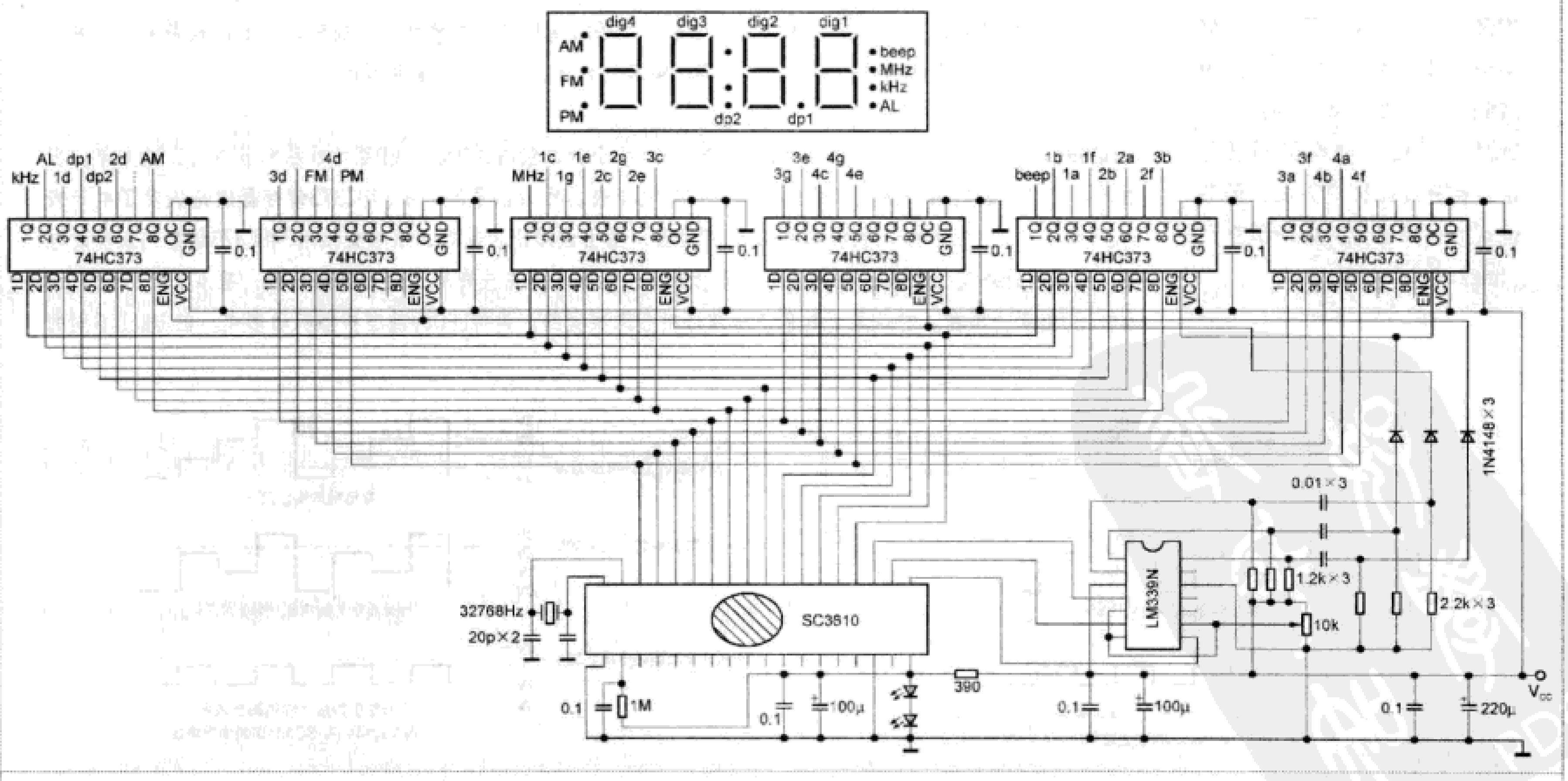


图4 3个背电极的LCD改造为LED显示的电路原理图

大家是否还记得笔者在2009年的杂志上介绍的两款“数码相框”呢？这次，我又带来了一款新的“数码相框”。它还是那么容易DIY，主要元器件依然只有3个：【1】彩色液晶，【2】AVR单片机，【3】存储卡。这次我已经准备好给大家展示制作它的全部过程。

◎张彬杰

M8数码相框制作攻略

我先为大家介绍一下这款数码相框的运行原理及使用方法。本次制作，我使用了M8单片机（M8是AVR单片机中型号为ATMEGA8的单片机的简称）。

原理使用篇

可实现的功能

数码相框的主要元件由彩色液晶、SD/MMC卡和AVR单片机3个部分组成。彩色液晶用于接收16位的颜色数据并显示图像。SD/MMC卡用于存储bmp格式的图片。AVR单片机用于控制和处理图像。使用时，将SD/MMC卡格式化成FAT文件系统或者FAT32文件系统，然后将分辨率为320×240或240×320的bmp格式图片复制到SD/MMC卡内。通电后，即可自动播放卡内的图片。如果图片不符合尺寸要求，可以使用图像处理软件PhotoShop调整一下图片的分辨率。

需要准备的元器件及材料

如图1所示，整个播放器使用的电子元器件很少。电路仅仅使用了一片1117-3.3及4片电容，可把电源电压稳定到3.3V。AVR的 M8单片机作为电路的控制器，它可以工作在3.3V的电压下。它有1KB的内部RAM，及8KB的FLASH程序存储空间。M8单片机最高可工作于16MHz的速度下，它的硬件SPI接口最高可工作在二分之一的系统速度下。M8单片机内部集成RC振荡器，最高频率为8MHz。因此，可以考虑不外接晶体振荡器，简化设计。制作时焊接个SD/MMC卡槽，以方便使用SD/MMC卡。彩色液晶屏幕的分辨率

表1

编号	零件名称	数量
1	2.4英寸液晶	1
2	万用板	1
3	SD卡卡槽	1
4	16M SD卡	1
5	10μF电解电容	2
6	0.1μF独石电容	2
7	1117-3.3	1
8	USB插座	1
9	5X2插针	1
10	M8单片机插座	1
11	ATMEGA8单片机	1
12	液晶插座	1
13	绝缘导线	2m

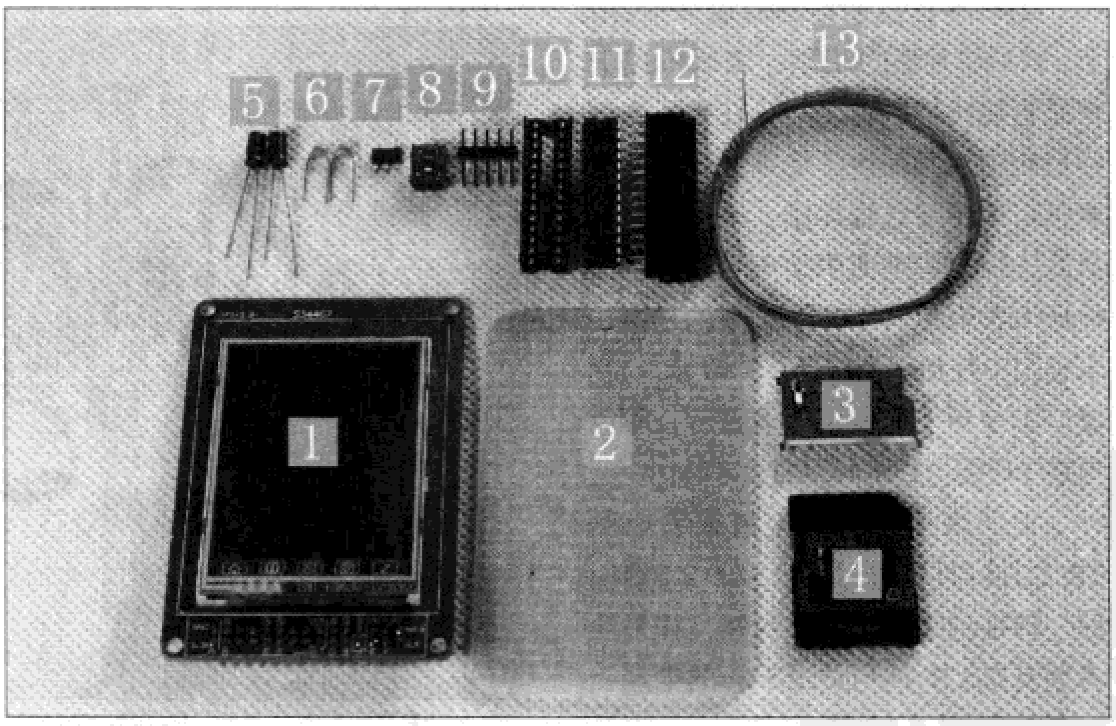


图1 元器件集合图

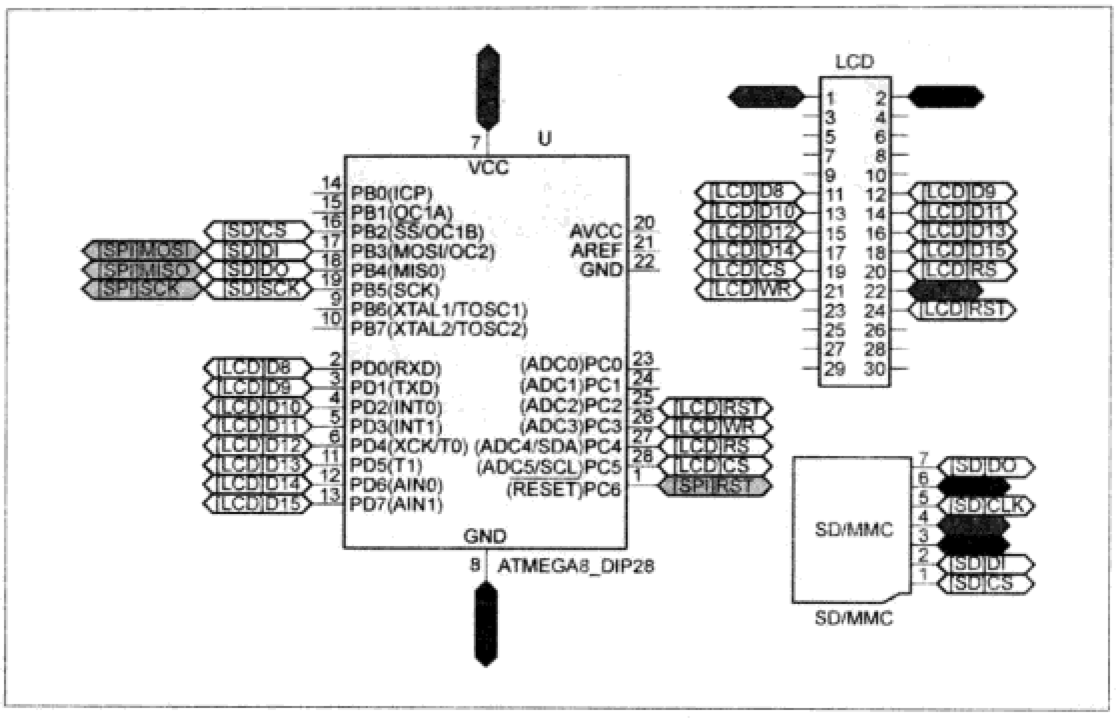


图2 数码相框控制电路原理图

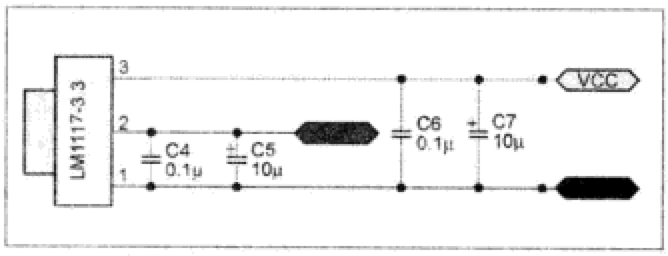


图3 电源模块原理图

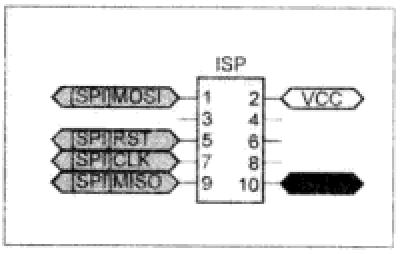


图4 给数码相框预留的ISP下载口

选用了320×240的，自带ILI9320控制器，只需要发送命令和颜色数据就可以显示图像了。更详细的元器件，请看表1，就不一一介绍了。

电路如何工作

数码相框控制电路原理如图2所示。AVR单片机的I/O口、液晶和SD卡都是直接用导线连接的。在实际的制作过程中，我使用了绝缘线焊接，大家也可使用漆包线焊接。单片机和液晶的连接在原理图中使用了淡绿色的标号来表示。单片机和SD卡的连接在原理图中使用了淡红色标号表示。SPI接口则使用了深绿色标号表示。彩色电路原理图可到本刊网站上下载。

电源使用USB充电器或者电脑的USB接口供电，经过1117-3.3稳压后，转换成3.3V电压。当然，如果读者朋友有3.3V的电源或3.3V的电池，也可以直接使用。图3就是简单的电源转换原理图了。

我使用ISP下载线进行了程序更新。下载口共10根插针，其中4根和单片机连接，2根用于供电。图4就是给数码相框预留的ISP下载口。

上述电路中，单片机的内存最好大于512字节，因为SD/MMC卡的数据读写是512字节为单位的。最好选用有硬件SPI接口的单片机，因为硬件SPI接口一般比软件模拟SPI的速度快。所以，这次选用M8单片机作为控制芯片。彩色液晶要选择带控制器的数字液晶，因为一般单片机的引脚速度不足以刷新不带控制器的模拟液晶。液晶的具体控制方式要看技术手册了，不同的控制器，它的控制方法是不同的。

焊接制作篇

下面，我为大家展示制作数码相框的整个过程。

Step 1：零件准备（见表1）

Step 2：材料工具准备

巧妇难为无米之炊，没有工具是不行的。本次制作需要使用到的工具见图5。

表2

编号	对应工具
1	斜口钳
2	焊锡丝
3	电烙铁
4	万用表
5	油性笔
6	锯
7	砂纸

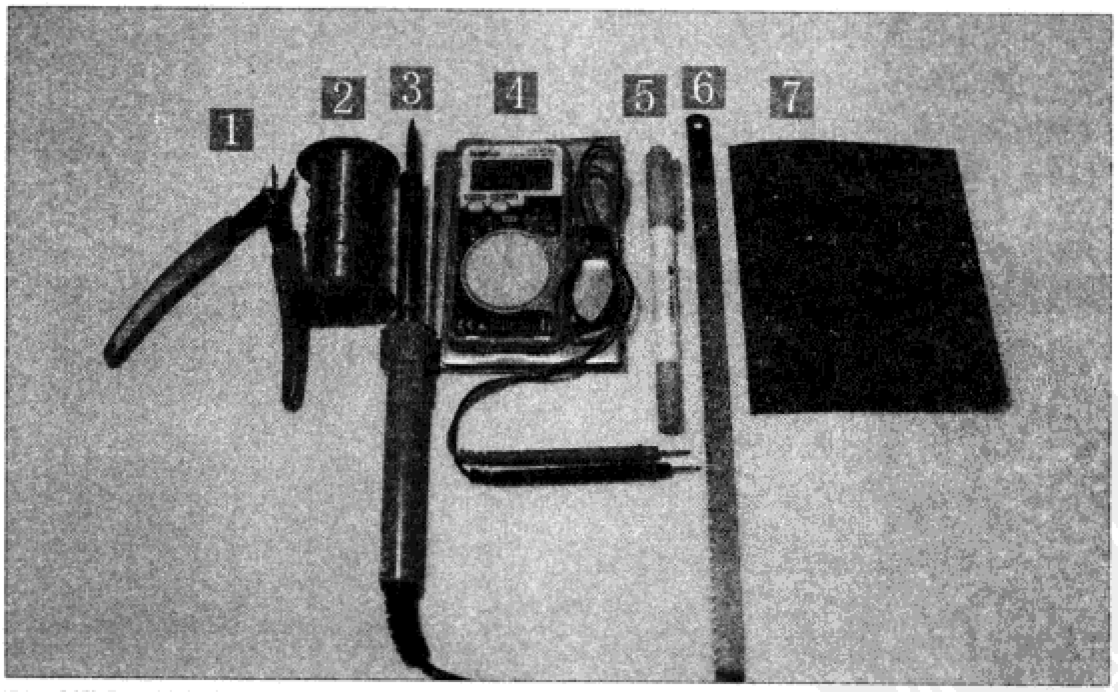
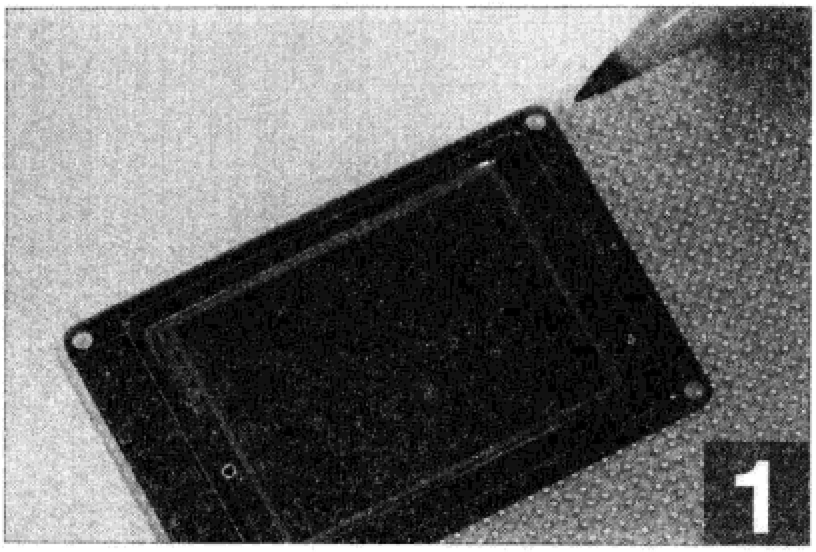
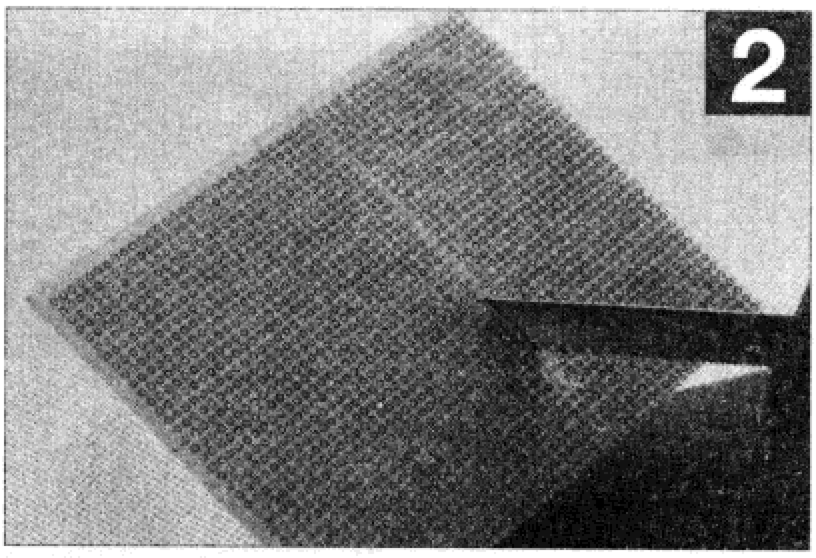


图5 制作需要的工具

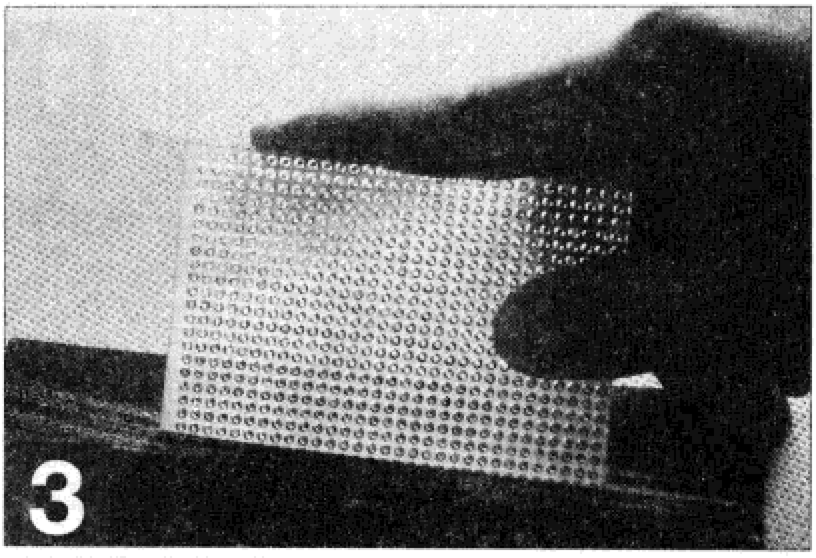
Step 3：规划万用板



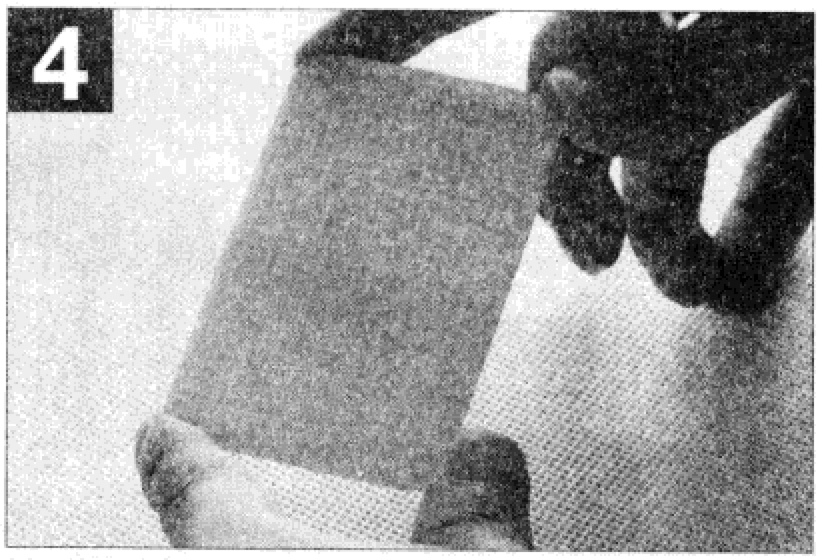
用笔标记一下万用板需要的大小。



用手锯剪裁万用板。

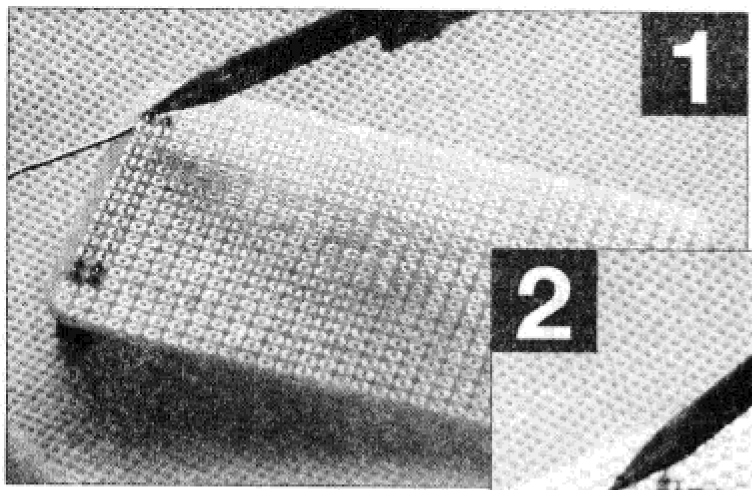


用砂纸打磨万用板边缘。

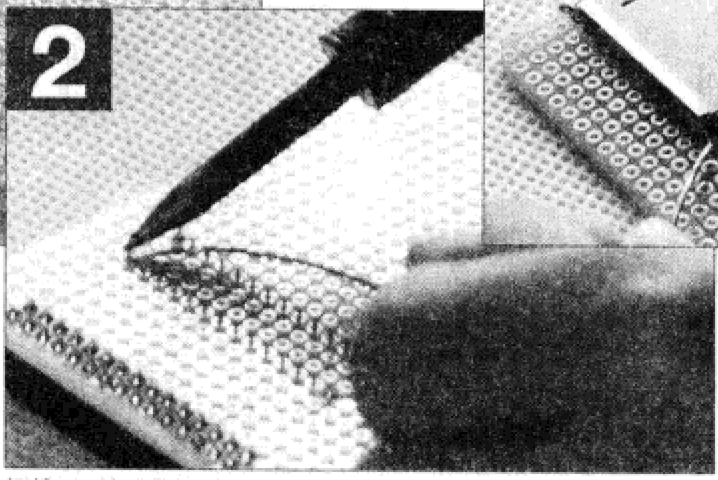


打磨好的万用板。

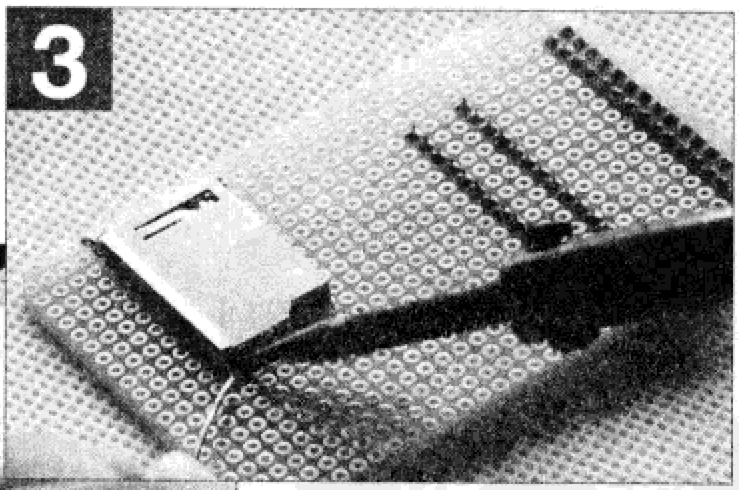
Step 4：焊接插座



焊接液晶插座。

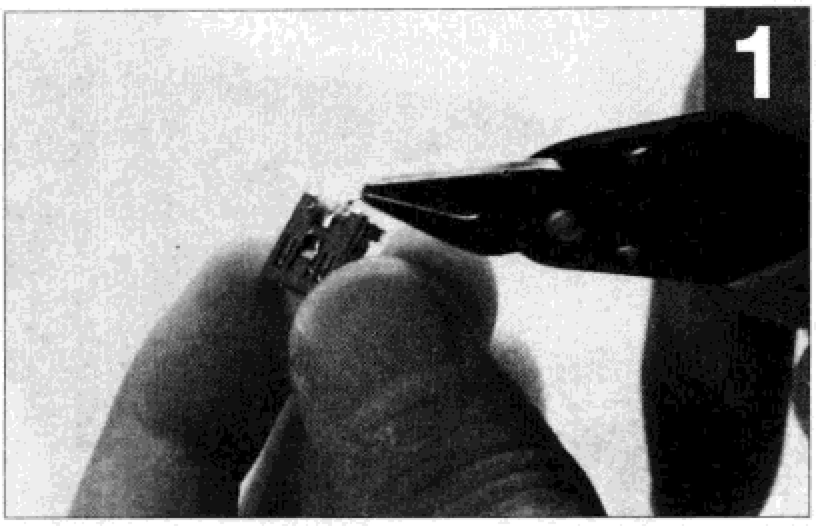


焊接M8单片机插座。

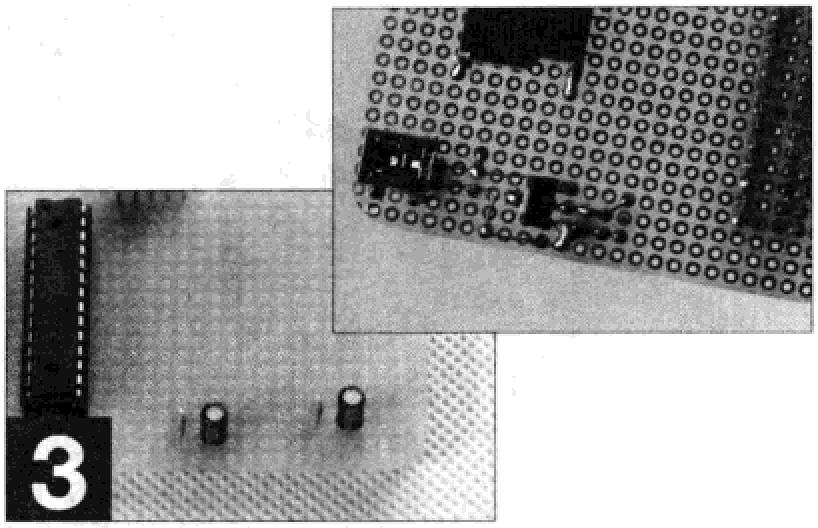


先焊接SD卡的4个固定脚，再焊接引脚到焊盘。

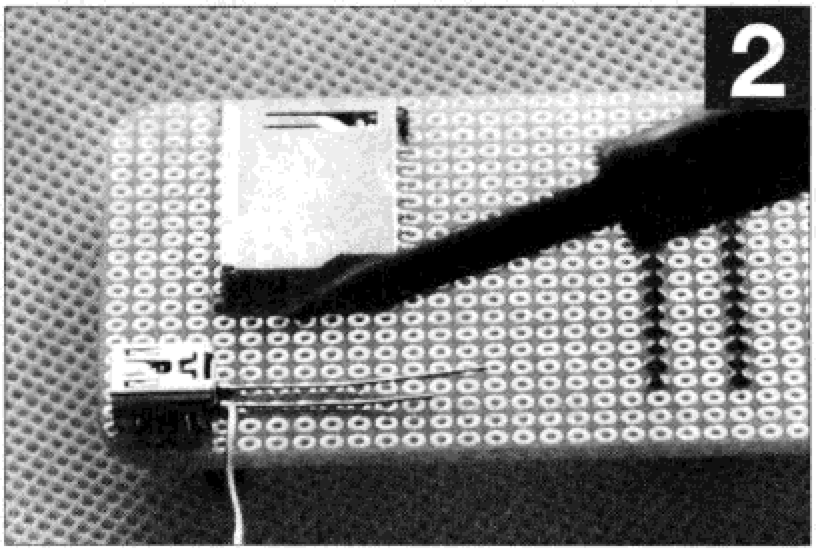
Step 5：焊接电源模块



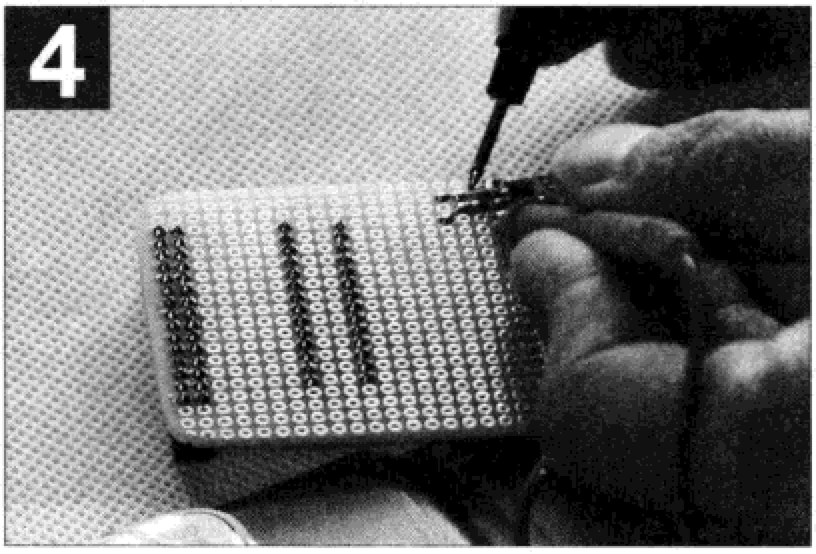
用斜口钳拔出USB插座的中间3根引脚，剩下旁边2根。我们只使用USB作为电源，2根引脚就够了。



最后，根据“电源模块原理图”，焊接1117-3.3及4个电容。

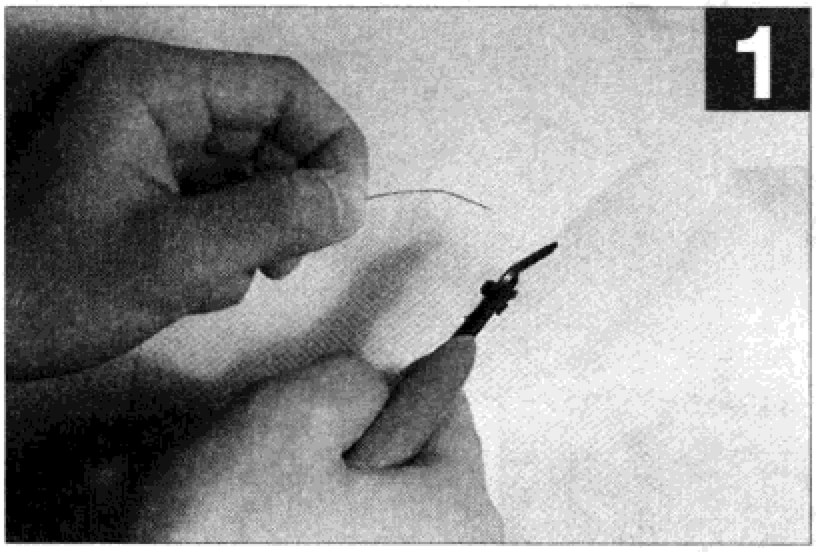


先焊接4个固定脚，再把USB的2个引脚固定在焊盘上。引出USB电源线，方便下一步骤焊接。

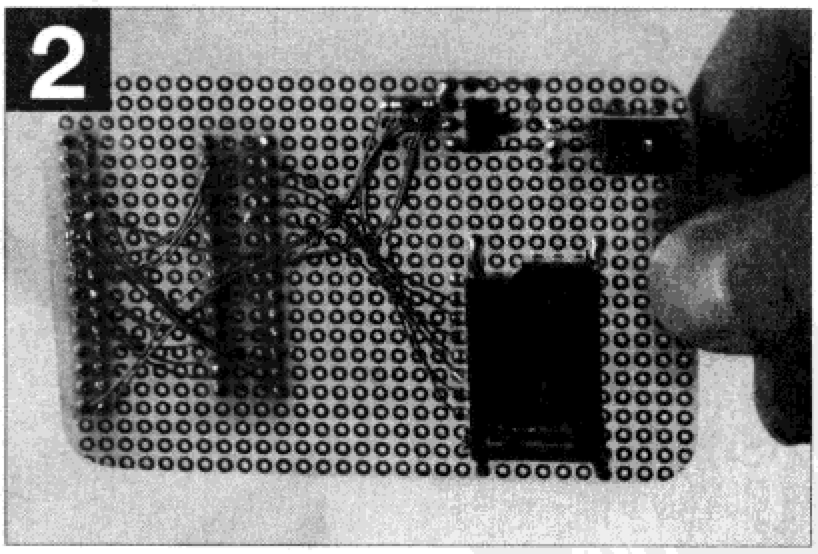


测试电源是否符合要求。

Step 6：连接各个引脚

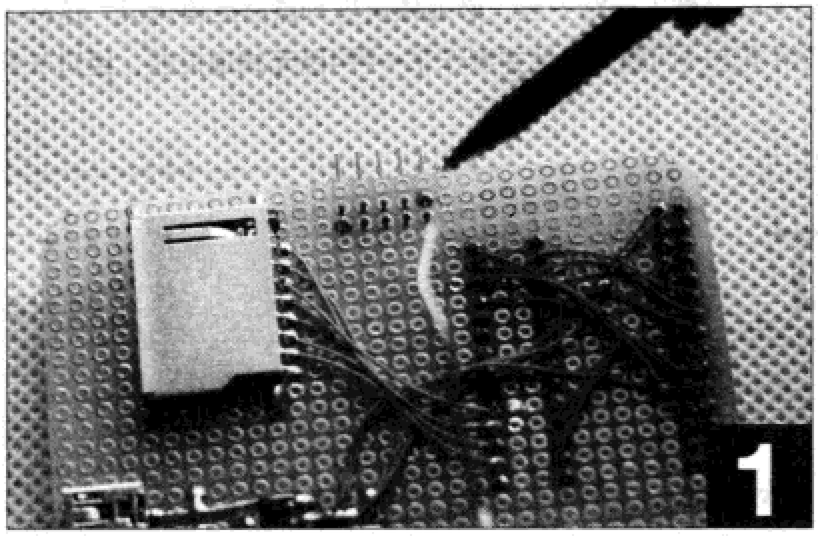


用斜口钳去除绝缘线的绝缘皮，约1mm。

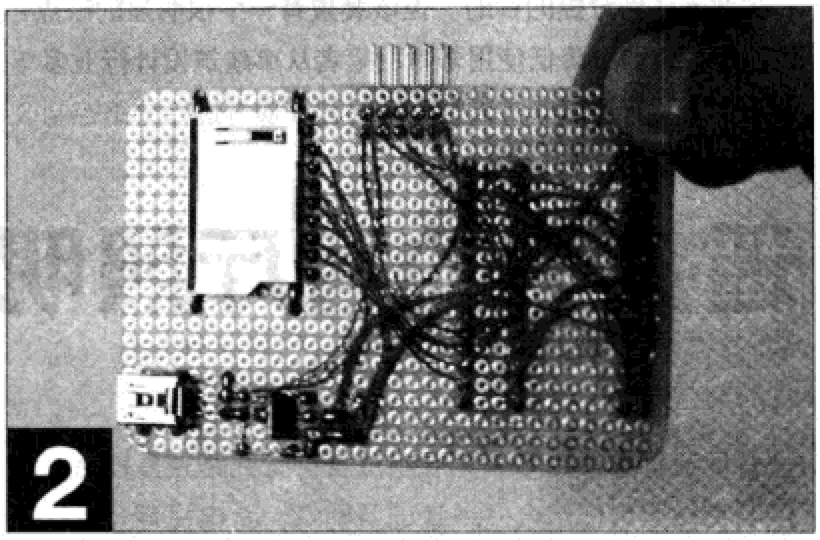


看“M8数码相框控制电路原理图”，对照粉红色标号，逐一连接对应管脚（编号和原理图对应）。

Step 7：焊接ISP下载口

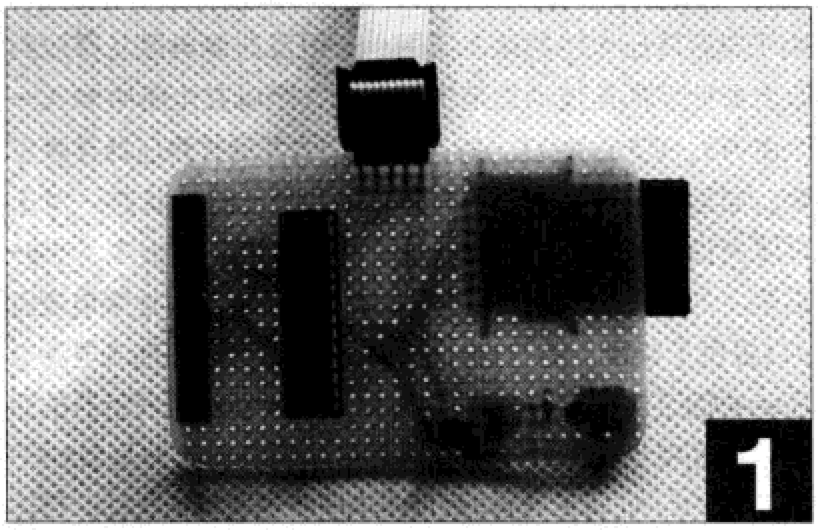


先焊接对角的2个插针，固定到万用板上（编号和原理图对应）。

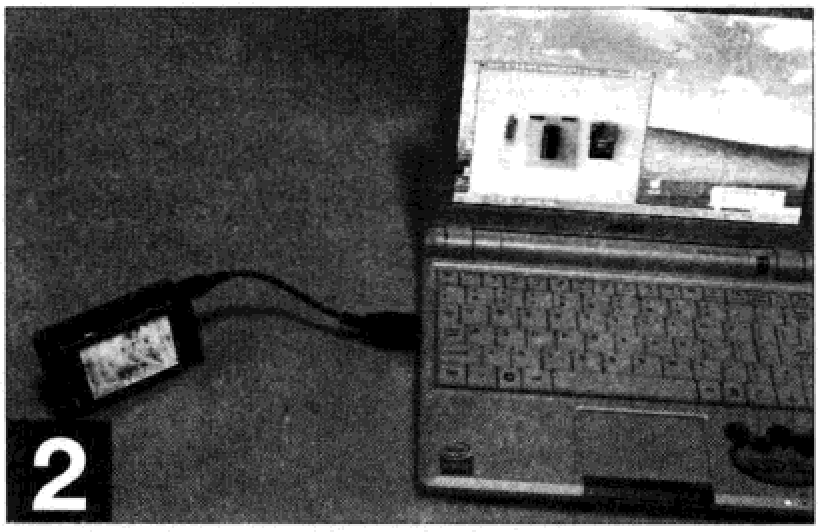


看“ISP下载口”示意图，对照深绿色标号。连接6个引线。

Step 8：下载程序



插上M8单片机，单片机的缺口向上，插上ISP下载线。



ISP下载线连接电脑（下载线是笔者制作的USB ASP）。下载好程序，插入SD卡，就自动显示图像了。

使用方法

1. 通过ISP下载线缆或编程器，烧录已经编译好的程序，烧录文件在文件夹里（本文所需程序和电路图可到www.radio.com.cn上下载）。

2. 在WinXP系统下使用FAT或FAT32文件系统格式化存储卡。

3. 复制符合要求的图片到存储卡的根目录。如果图片不符合要求，可以使用PhotoShop修改一下分辨率，然后另存为bmp格式。PhotoShop的操作方法本文就不再详述了。

使用效果

在这款数码相框的彩色液晶屏上显示图片时，横竖图片可以自动切换。显示完一幅图像后，显示图片文件名，延迟2s左右将显示下一幅图像。文件名可以任意命名，但中文字符在液晶上的显示将会是2个空格。数码相框仅支持240×320、320×240分辨率的BMP图片，但BMP图片的位数可以是16位、24位、32位。

常见问题

1. 问：为什么使用8G的SD卡，使用时却显示未插入SD卡，而我的其他存储卡却正常工作呢？

答：8G的卡可能是SDHC卡，程序不支持SDHC版本的SD卡，购买存储卡时需要注意。

2. 问：为什么显示一幅图片的时间要很久？

答：是不是忘了设置AVR的熔断丝，M8默认的速度为1MHz，需要设置熔断丝，使它工作在8MHz的速度上。如果还觉得慢，可以外接16MHz的晶振。重新设置熔断丝，使它工作在外部高速晶振模式，这样数码相框的运行速度就可以提高2倍了。

目前，针对客厅照明多种光源的需要，大部分家庭选择使用一种安装有“分控器”的灯具。这种“分控器”通过墙壁开关的开启次数来达到分控的目的。但该装置有一个很明显的缺点：如果要想切换到下一路光源，必须依次先行点亮后再熄灭。这样不仅繁琐，也势必降低使用寿命。笔者从事建筑设计行业多年，为了解决这一问题，设计并制作了一种4路无线遥控器，经过长期使用，证明它可以非常人性化地对客厅顶灯进行分路控制改造。

遥控你的客厅照明灯

◎刘晶

客厅顶灯必须由多个光源组成且可分几路独立控制，本文按照最低组合——基础照明灯、看电视背光灯、高光照明灯三组光源来介绍这个4路无线遥控器。该遥控器的核心部件是一组无线遥控组件，组件由发射器和接收模块两部分组成（见图1），可以从网上购得（这部分电路工作在超高频频段，是不能自制的）。

该无线遥控照明系统的总体接线图如图2所示。其中开关S是客厅照明灯墙壁开关，虚线方框内便是本文主述的4路无线遥控器的电源、无线接收和控制部分（以下统称接收器）的全电路，方框上部是客厅顶灯光源分路接线示意图，本文分为0、A、B、C共4组光源。为了尽量缩小接收器的体积使其便于安装在顶灯内，同时也使其待机功耗尽可能小，接收器的电源电路采用电容降压方案，为了通吃各种光源（白炽灯、日光灯或LED灯），接收器使用有触点器件（继电器）作为输出控制开关。

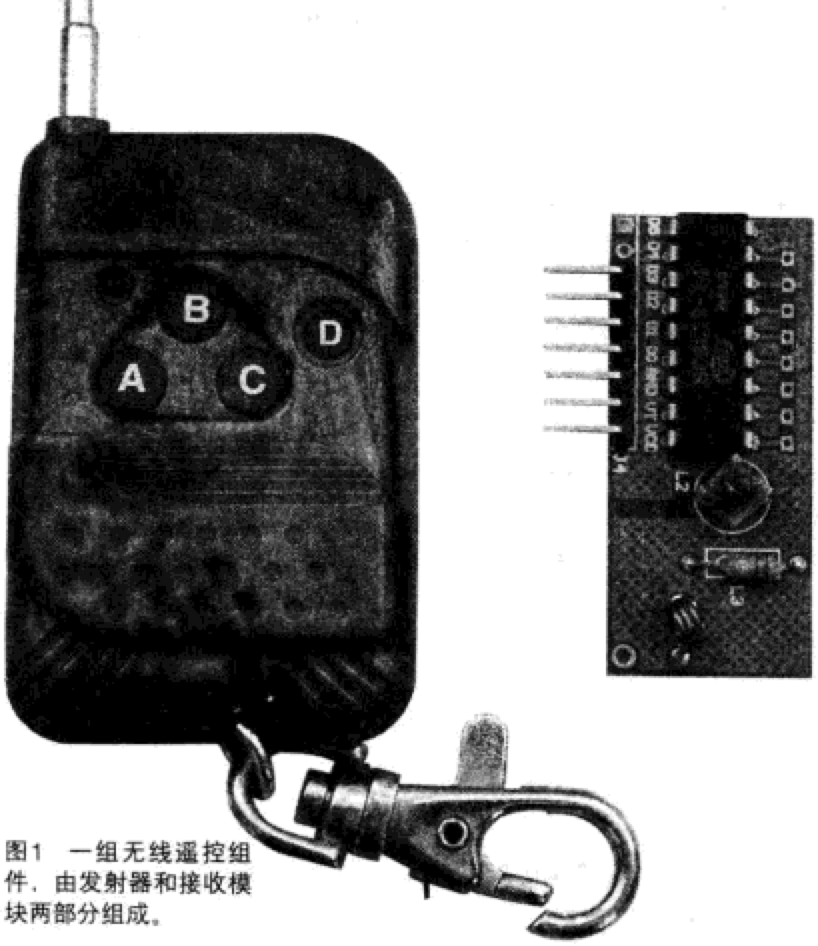


图1　一组无线遥控组件，由发射器和接收模块两部分组成。

设计理念

1. 接收器电源部分

合上客厅墙壁开关S，220V交流电源经C1降压，再经VD1、VD2整流和R2、C2、C3滤波后形成直流工作电压Vo，由于电容降压电路的动态范围小，很难与继电器从释放到吸合如此宽的电流动态范围相适应，所以在电路中加入一个由VT1、VDw、VD3、R3、C4组成的并联式稳压器至关重要。当刚接通电源时，所有继电器均处于释放状态，对于电源来说这时接近于空载状态，故Vo将会升得很高，当升高至21.5V以上时，20V稳压管VDw击穿导通，其泄漏电流为VT1提供了偏置，使VT1导通，并通过R3泄流把直流电源电压Vo拉回至21.5V，当无线接收模块接收到遥控发射器的遥控信号并使相应的继电器吸合后，电源会因满载导致Vo下降至18.5V，VDw和VT1均截止，稳压器进入等待状态。稳压器的作用就是在继电器工作前后使直流工作电压Vo稳定在18.5～21.5V，为整个电路的稳定工作提供保障。当然，稳定在更小区间内也是可能的，条件是加大降压电容的容量，对节能不利。经实测，当C1为0.56μF时，相应Vo可稳定在18.5～21.5V，完全能满足接收器的使用要求。

2. 接收器无线接收和控制部分

合上客厅墙壁开关S，还没有进行遥控操作时，接收模块的a、b、c、d四路输出端均为低电位，VTa、VTb、VTc截止，3只继电器Ka、Kb、Kc均处于释放状态，其中Ka动断（常闭）触点保持原始接通状态，接收器的“0”输出端通电，客厅基础照明灯点亮，如果客厅没有其他活动，则不必操作遥控器，仅有基础照明灯一直处于点亮状态，当看电视时，按下遥控发射器上的“A”按键，无线接收模块的相应输出端“a”输出高电位，VTa导通，Ka吸合，其动断和动合触点状态转换，接收器的“0”输出端断电、“A”输出端通电，即基础照明灯熄灭、电视背光灯点亮，

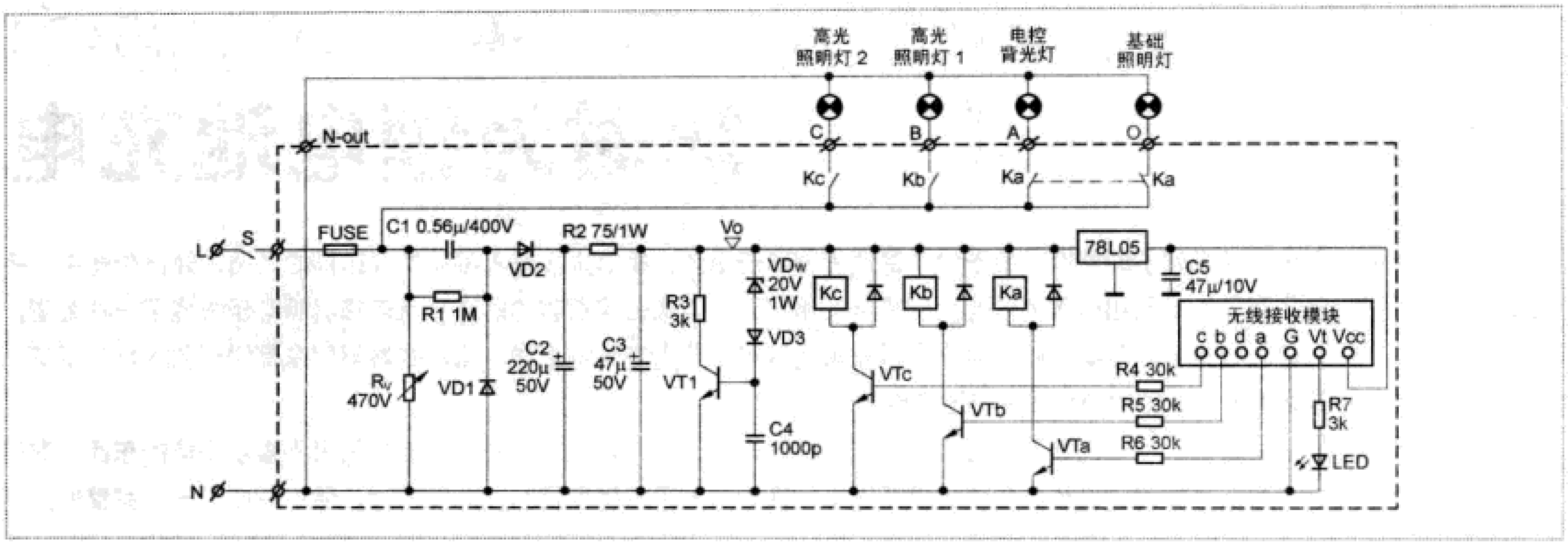


图2 无线遥控照明系统的总体接线图

当阅读或会客时，按下遥控发射器上的"B"按键，无线接收模块的"a"端转为低电位、"b"端输出高电位，接收器的"A"输出端断电、"B"输出端通电，电视背光灯熄灭、高光照明灯1点亮，同理，按下遥控发射器上的"C"按键，高光照明灯1熄灭、高光照明灯2点亮。高光照明灯1和2的光源功率应有所区别（比如1为单管、2为双管），以便于根据会客或阅读时不同的使用需求用遥控发射器的"B"或"C"按键来选择不同的照明亮度，否则就失去了"B"与"C"按键同时存在的意义，无线接收模块的输出端a、b、c不论哪个处于高电位（相应电视背光灯、高光照明灯1或2不论哪个正在点亮）时，按下遥控发射器的"D"按键，无线接收模块的输出端d将转为高电位（没有接线，故没有意义），输出端a、b、c均输出低电位，四路光源恢复到合上开关S时的初始状态，即仅基础照明灯点亮状态。可见，通过操作遥控发射器上的4个按键，可以很随意地控制客厅顶灯不同的亮度需求，完全满足了一般家庭的使用要求。

本文所选用的无线接收模块的4个输出端为互锁模式，即同时只能有一个是高电位，所以继电器也就同时只能有一个吸合（或说4路光源同时只能有一路点亮），如果对接收模块的输出端口稍作变通，可为4路光源的点亮模式赋予新的组合。例如，在接收模块的输出端口上增加选通、隔离二

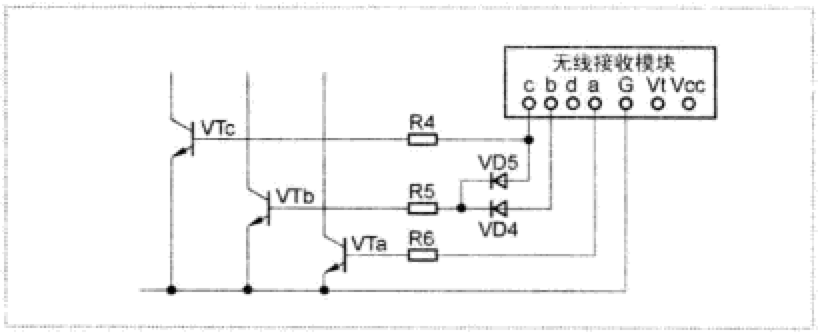


图3 4路光源的点亮模式的新组合

极管VD4、VD5，则对按下发射器"C"按键后的动作模式进行了修改，这时再按下发射器"C"按键，高光照明灯1和2将同时点亮，可应用于对亮度需求更高的场合，见图3。读者还可以举一反三，根据自己的需求对接收模块的4个输出端口进行修改，组合出新的点亮模式。不论如何组合，继电器同时吸合的数量宜控制在两个及以下，否则降压电容器的容量太大的必然后果就是稳压器在电源空载时的功耗增大，当同时有两个继电器吸合时，C1应增大为0.82μF。

元器件选择

图2中C1为耐压在400V以上的CBB金属化聚丙烯薄膜电容；二极管VD1、VD2为1N4007，其他全部为1N4001；所有晶体三极管均为C1815Y；继电器为JQC-3F（T73）型，线圈电压24V，实测线圈电阻R为1.5kΩ，实

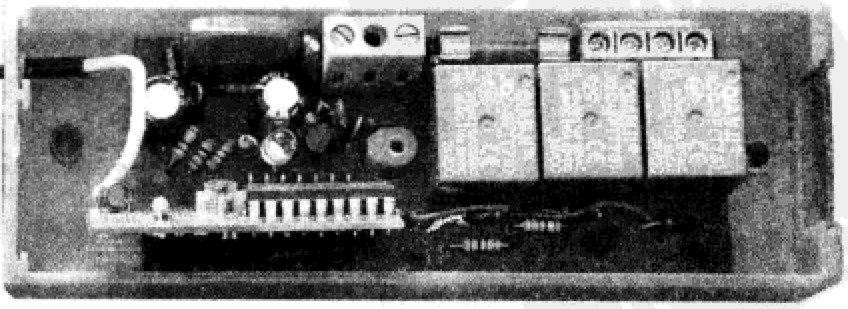


图4 将接收印制电路板安装在塑料盒内

新器件试用台

MAX1797+MAX1551随时为锂电池充电

◎任杰

在我们日常生活中，越来越多的便携式电子设备都使用锂离子电池，相信大多数人都有类似这样的经历：外出长途中，手机或者MP3的锂电池用完了。这对出行者来说是比较痛苦的事情，不仅失去了所有的联系，就连想听听音乐都成了一种奢望。要是在长途车上，只能无精打采地眯着眼睛，坐在车厢里备受煎熬。笔者在外地上学，每次寒暑假回家都经历着这样的折磨，于是下定决心，一定要做出个能随时随地给锂电池充电的玩意儿。

笔者在网上浏览了一番后，发现需要的东西早就有了现成的产品，十几块钱，也不贵，但是笔者不喜欢现成的东西，非得自己做出来才过瘾。于是又开始确定制作的目标，然后到IC厂商的官方网站搜罗资料，申请样片。最终完成了一个完整的简易小容量锂电池管理模块。当然，这个方案还能用于多种场合。

制作要求

我们知道，绝大多数的手机、MP3等都具有连上USB口自动充电的功能，对于这种设备，只需要做一个升压电路，将一节或两节碱性电池的电压升至5V，通过USB口的电源线连接到设备的内部就能用普通的碱性电池为锂电池的设备实现随时随地充电了（当然，有少数品牌的手机或MP3在USB口只加电源的情况下不充电）。但是采用这种方式充电有一个弊端，就是不同品牌的手机或MP3使用的mini USB接口不同，为了有较好的通用性，必须准备多种不同的mini USB接头。另外，这种方式对于那些连上USB口不充电或者是在USB口只加电源的情况下不充电的设备就无能为力了。

为了做到很好的通用性，最好能将这些设备的电池单独取出来进行充电。但是锂离子电池的充电要求是比较严格的，简单地说，其充电周期有以下三部分：

1. 预充电：如果单节电池电压低于设定的电压值（如3V），应首先使用小电流进行预充电。

2. 恒流充电：当单节电池电压高

测最低吸合电压 13.7V，线圈电阻的大小对降压电容 C1 的选择很关键，无线接收模块上的解码 IC 宜选择较为通用的 TP2272-L4，并要注意型号的后缀，L4 表示 4 路互锁输出，M4 表示 4 路非锁输出，T4 表示 4 路自锁输出，3 种输出锁存模式固化在解码芯片 TP2272 中无法修改，故不能通用，仅 L4 适合本文使用。

FUSE为玻璃管式熔断器，作用是对整个系统的局部短路保护是有利的，Rv是470V压敏电阻，对电子镇流器和LED光源均有一定的保护作用，LED指示灯的作用是显示无线接收模块的工作状态，它有助于维修时对故障部位的准确判断。这3个元件均可省略不用。

其他元器件均无特殊要求，按电路图给出的参数配置即可。

制作

接收器部分的元器件安装在一小块印制电路板上，并装在一个大小合适的塑料盒内（见图4），最后将塑料盒固定于客厅顶灯的底板上。由于家庭短距离使用，一般情况下接收模块不用引出接收天线便可满足遥控距离，如果一旦不能满足，可在接收模块上的接收天线焊盘上焊出一段10～20cm的导线即可。

注意事项

一套全新的无线遥控组件是未经编码的，空码组件也可以使用，但是家里或附近几十米之内有两个以上相同的空码组件在使用的话，将会发生互控现象，所以要编码或称对码。发射器的编码芯片与接收模块的解码芯片的1～8脚为编（解）码输出脚，这8个脚在电路板上都有接高电位（H）和低电位（L）双向选择的焊盘，即每个脚都有接高电位、低电位或空接3种选择。只有当解码芯片与编码芯片进行了相同的选择，接收器才能接收到发射器的数据信号。其实没有必要对8个脚全部进行编码焊接，对个别脚进行焊接（即选择接高电位、低电位）就可以了，因为对于编（解）码来说，不选择也是一种选择。

最后，用功率计实测接收器的自身功耗为0.2W，仅为毫瓦级的待机功耗，所以根本不必担心会增加额外电耗开支的问题。

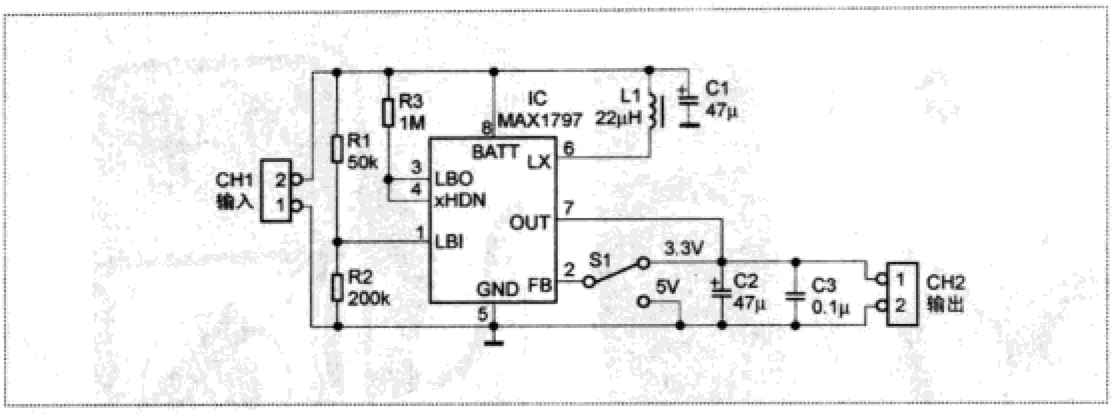


图1 MAX1797应用电路

于设定电压值，使用较大的恒定电流对电池充电；

3. 恒压充电：当电池在充电过程中，电池快达到充满时的电压值，应保持电压不变，电流由最大值慢慢减少到某一设定值，电池即充满。

所以，如果将电池取出来充电，必须增加一个充电控制电路，以满足上述的要求。

要求明确了，要选用这两个电路的IC并不是什么难事，绝大多数IC制造商都会将电源管理单独成为一个产品系列。根据要求的各项参数，阅读数据手册，耐心地挑选就行，在选用的过程中特别要注意的一点就是IC的封装，有的IC尽管性能优秀得让人惊叹，但无引脚的封装却使得手工焊接无从下手，这类IC，只能欣赏一下了。最后笔者选用了MAXIM公司的两款IC——MAX1797和 MAX1551。

IC简介

MAX1797是一款高效DC-DC升压芯片，输入电压低至1V，最大输出电流达400mA（输出电压3.3V时），并且无需外接快恢复二极管。图1为MAX1797的应用电路图，R1、R2确定芯片的开启电压，计算公式为0.85（$R1+R2$）/$R2$。按图中参数，当电池电压低于1V时，电路停止工作。输出电压可以通过反馈引脚FB调整，当FB接输出端时，输出电压3.3V，当FB接地时，输出电压5V。也可以通过电阻分压的方式，使输出电压在2~5V范围变化。

MAX1551是一款完整的单节锂电池充电控制电路，具有DC和USB两个电源输入端，电路如图2所示，当使用USB端作电源输入时，充电电流恒定在100mA（典型值），当DC端有电源输入时，充电电流恒定在280mA（典型值）。当电池电压低于3V时，MAX1551会切换到预充电模式，以40mA左右的电流对电池进行预充电。另外，MAX1551集成了温度限制电路，当芯片温度达到限制值时，MAX1551会自动减小充电电流，所以设计电路板时不必过多考虑散热的问题。

有了以上两款IC，要制作一个随身携带的锂电池充电器就是轻而易举的事了。

制作过程

尽管两个应用电路都极其简单，但是两款芯片的封装都比较小，用双面板做起来比较容易。如果再考虑得多一点，MAX1797的储能电感只有22μH，可以肯定其开关频率较高，使用双面板能更好地屏蔽高频干扰。外围的电阻和电容，全部选用贴片封装。这里特别说明，在开关电源变换器中，选取电感时，储能电感有几个参数是非常重要的。一是电感的饱和电流，其值必须大于开关的峰值电流，这是正常工作的基本保证，在这里L1的饱和电流应大于1A；二是电感的等效串联电阻（ESR），其值越小，铜线的热损耗就越小；第三是当开关频率较高时，则有必要选用高频磁芯，减少磁芯损耗。

这个电路的PCB同样是与笔者设计的其他PCB一起做到一块板子上的，没必要单独花钱为两片样片特意去做PCB。图3是笔者做好的PCB实物图（空板），图4为焊接完成的实物图。笔者开始使用了7227封装的两个电解电容，实际证明没有必要这么大，因为47μF/6.3V的贴片钽电解电

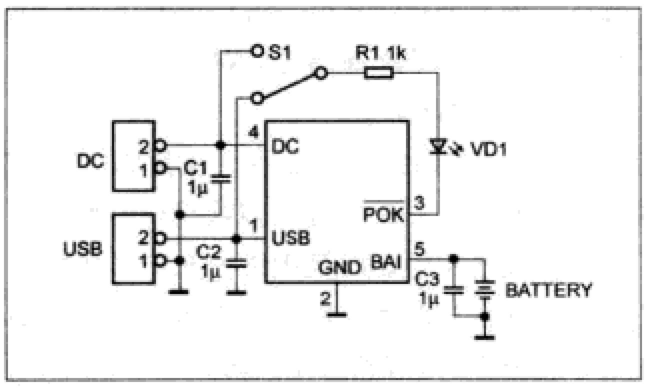


图2 MAX1551应用电路

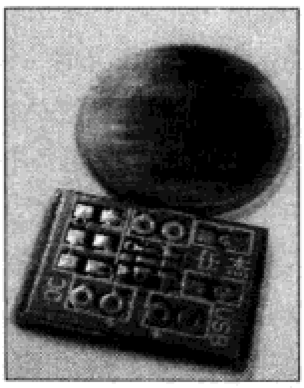


图3 做好的PCB实物图（空板）

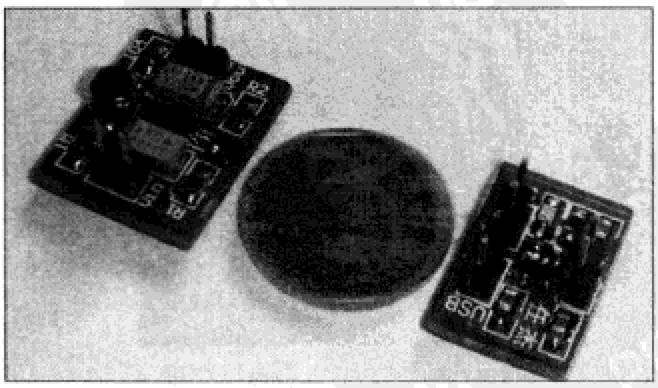


图4 焊接完成的实物图

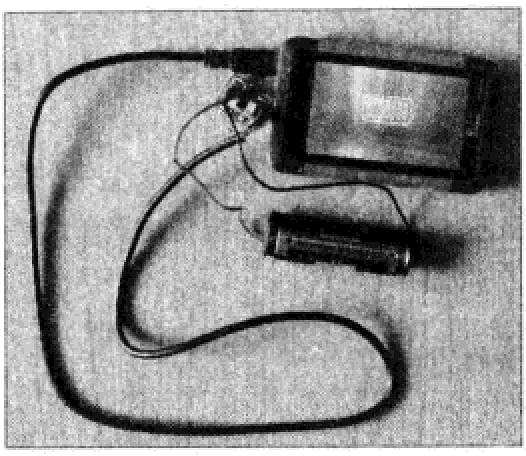


图5 单节5号电池升压至5V后给MP3充电

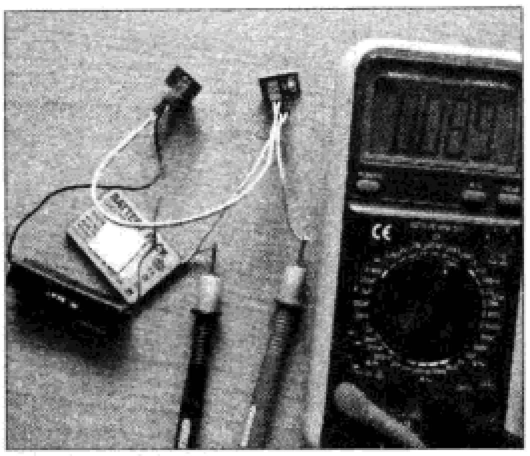


图9 MAX1797升压电路+MAX1551恒流电路为单节锂电池充电

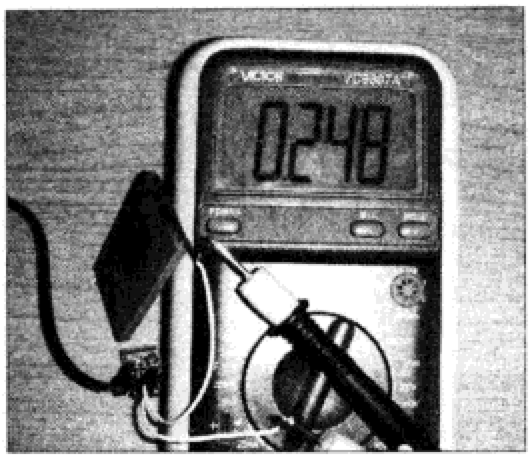


图10 交流适配器通过MAX1551进行恒流充电

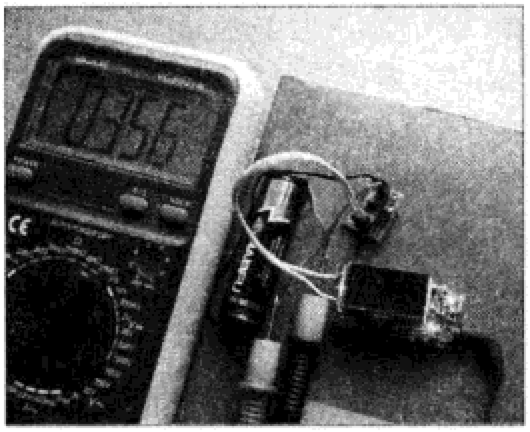


图6 MAX1797组成的升压电路为MP3供电（LCD背光开）

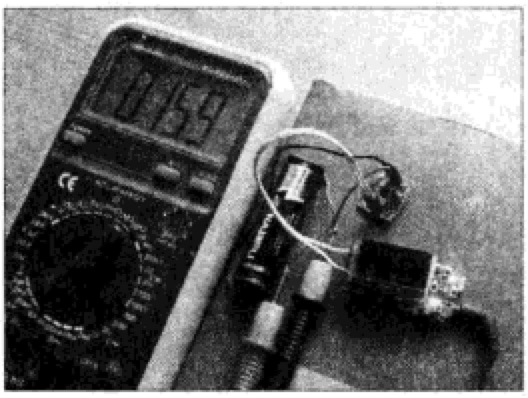


图7 MAX1797组成的升压电路为MP3供电（LCD背光关）

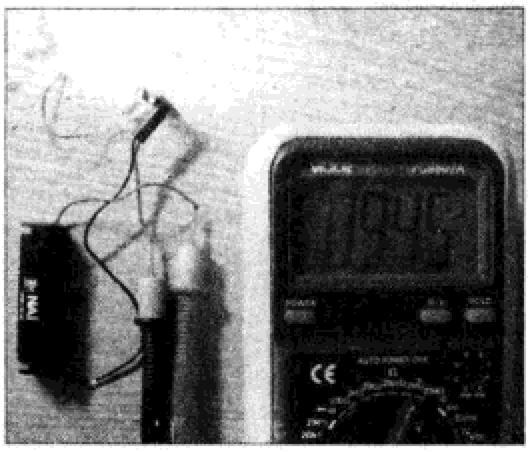


图8 单节5号电池升压至3.3V后给功率LED供电

容封装能够做到1210（封装与电容、电阻外形尺寸对应关系是：1210对应3.2×2.5）。

测试与使用

元器件焊接完成后，检查有无元器件焊错、电解电容极性是否焊反，然后就可以通电测试了。

首先测试MAX1797组成的电路模块。将S1（电路板上为焊点）接地，以单节五号电池作电源输入，测得输出电压为5V。然后取一根与手机或MP3配套的USB数据线，将标准的一头USB插口剪掉，选出其中的电源线与地线连接到模块输出端，插入MP3后显示MP3能正常充电（见图5），说明该电路模块可以正常工作了。

或许有读者用过早期的用单节5号或7号电池供电的MP3，在这里用MAX1797组成的升压电路也是可以实现这一点的。图6、图7中的MAX1797组成的升压电路为一个拆除了电池的MP3播放器供电。其中图6显示了在MP3播放器打开LCD背光时，流过5号电池的电流，图7显示了在MP3播放器关闭LCD背光时，流过5号电池的电流。从图中的数据可以看出，LCD背光灯的功耗是非常大的，甚至占据了整个MP3功耗的一半以上。

在本刊今年第1期介绍的关于MAX5035的电路中，笔者试过，给带有散热器的1W功率LED采用3.3V恒压供电时，室温下电流不超过300mA。因此，这里可以尝试使用MAX1797升压至3.3V给1W功率LED供电，图8给出了实拍图片。从图中数据可以看出，流过单节5号电池的电流是相当大的，在这种情况下，MAX1797的输出电压会有一定的减小，效率也会急剧降低。

笔者测试了MAX1797与MAX1551结合起来使用构成的完整的充电电路。将MAX1797置于5V输出模式，输出端作为MAX1551的电源。注意，单节5号电池供电的情况下，只能连接到MAX1551的USB输入端，对电池进行小电流充电，如果连接到MAX1551的DC端，不仅工作时间会非常短，而且电流无法恒定在280mA。

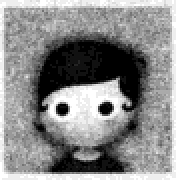
图9给出了充电的实拍照片，充电电流在90mA左右。如果使用两节5号电池并联或串联，可以尝试连接到MAX1551的DC端，对电池进行280mA左右的恒流充电。图10为采用输出5V的交流适配器通过MAX1551进行恒流充电的照片。

以上的实验证明，使用MAX1797和MAX1551完全可以实现对小容量锂离子电池随时随地进行充电，此外，这两款芯片也能很方便地用于其他便携式的电子产品中。

<< 上一主题 | 下一主题 >> 118 1 2 3 4 5 6 7 8 >> 回复 新帖

电烙铁使用小技巧（整理自电子工程师论坛）

收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印



整理：草音

加入日期：2010-04-18

帖子：666

辛昕：我来谈谈使用技巧。本人原创——乃自己当时查阅的资料和自己的一点点经验而写成，如有错误请多指教！

首先要说明的是，使用电烙铁，绝对不仅仅是只关注电烙铁本身——这里说的“使用电烙铁”其实是指焊接（也包括拆焊）的全过程。所以，有必要先了解一下完成焊接需要的必要材料和工具。

电烙铁——主角；松香——助焊剂（其实它的作用还有很多）；硬橡皮——你可能有点觉得莫名其妙，但是，准备一块是绝对有必要的，它的作用同样多多，下面会提及；镊子——它主要是用来夹持零件，一则手不必怕热了，二则它还是一个很灵巧的散热工具；剥线钳——作用如其名，不必多说。

接下来我们先说说电烙铁的保养和整修。

首先要观察它的烙铁头。如果它还比较光亮，或者有一层银色的锡，表面光洁，那很好，没啥事，直接上电就可以用了。但是，很多时候，情况没那么好——我就见过，几个仁兄在焊接一个 ARM 开发套件，猛埋怨那电烙铁没自己宿舍的好用——当真如此么？其实，从那电烙铁的形状来看，那是没用过几次的新品，而且是广州黄花，是好货色。那么，是怎么回事呢？原来那烙铁头氧化得太厉害了，黑不溜秋的，能好焊那就怪了。放置太久的电烙铁或者被不怎么会用的人用过的电烙铁大多都会氧化，轻则不够热，重则连锡都上不了。如果不知情，硬用，还会让里头的发热丝报废——热散不出来，自然就内伤了。

那么，要怎么处理烙铁头呢？处理需要小心，但还不算太复杂。首先，立马断电，等到它凉了，用锉刀或者砂纸仔细地打磨一下烙铁头——注意要磨出一定的尖头，或者就着原来的形状打磨。最好用砂纸，因为比较平整。对于伤得比较重的烙铁头，先用锉刀磨平，最后再用砂纸磨光滑些。

然后，通电。这时，最好找些棉花沾酒精（工业酒精或者消毒酒精亦可，啤酒嘛，我试过，应该还可以），如果实在找不到，也可以用水。但记住，一定不要让棉花太湿，否则可能引起飞溅。

这个湿棉花团的作用如下：

刚磨过的电烙铁通电，加热时，尚不够热，可以上锡，却容易氧化，而此时如果可以用湿棉花团来擦拭，则可以有效防止氧化——当然，最好是用棉花沾酒精。

等到烙铁头足够热了，可以先沾一些松香——一点就够了（在使用电烙铁的过程中也是如此，每次焊接东西时，先沾松香，再上锡或者焊接，都有助于锡的融化和提高其流动性，焊接的质量会大大提高）。

然后仔细地把烙铁头均匀地涂上一层锡。如果做得好，你可以看到那些锡很听话地在烙铁头上均匀地铺上细细一层。如果你转动电烙铁，还可以看到锡液在流动——如果你看到这个效果，说明你做得很好。但是，仍要耐着性子，给它断电，等它凉了再通电，再上一层锡。这样重复两三次，烙铁头将会得到更好的保护。如果你急着用，那就免了这个过程。

下面说说电烙铁的使用，主要是线与电路板和线与线的焊接。

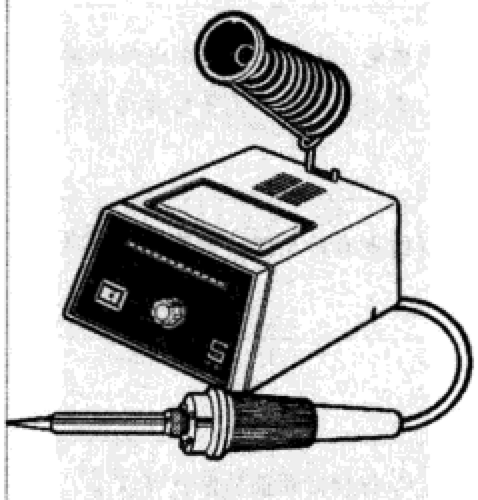
导线有很多种类型，谁也不知道你会遇到哪一种，有一些线就很讨厌，很难上锡，直接去焊，就更是欲哭无泪。所以线头需要好好处理。处理方法是：如果本身就有旧锡，比如从什么板子上焊下来的，这个其实是最好办的——只要用烙铁头热一热，或者加点新锡，那就万事OK了。但是，如果是新剥的线头，那就比较麻烦。

新剥的线头，首先你要把它拧成一股，然后先上锡。现在上锡绝对比等一下你在电路板上手忙脚乱要好很多。给线头上锡当然也不那么好上，但是，是有办法的。操作的方式可以有很多种，原则是：首先，电烙铁沾松香，然后给烙铁头上点点新锡，然后，把锡丝放在烙铁头和线头之间，让锡融化，粘附在线头上，然后拖动线头或者烙铁头，当然还有锡丝。目的只有一个，让锡均匀铺在线头上。这里要注意，锡也不要铺得太长，铺到离有绝缘外套的地方一两毫米就好了。这时，你再放到板子上焊，你会觉得，真轻松！

接着，我们说说，两个线头之间的焊接，有时也可能是两根导线，其实一样的。

焊接的方法和前面大同小异，也是先给线头上锡。这时，镊子就可以派上用场了，让你用手去拿，你就算不怕，也会被烫得松手。你可以用镊子夹住两根线，然后，用电烙铁热一下，两个线头上的锡自己就会乖乖地连在一起，然后你移开烙铁头，让它凉了就好了。

这个说着容易，做起来可不那么容易，要练习练习，自然就会了——焊接线头最高的境界就是，用几根线焊成一个圈，你用手拉要费相当大的力才能拉开——这个确实是高难度，我能做到的只是让女孩子拉不断，男孩子一扯还是会扯断。



电子元件的焊接是每个电子爱好者与电子工作者必修的功课，如何用好电烙铁，每个人都有自己的方法和技巧，我们来看看网络上的烙铁经验交流吧。

<< 上一主题 | 下一主题 >>　118 1 2 3 4 5 6 7 8 >>　回 复　新 帖

电烙铁使用小技巧（整理自电子工程师论坛）

收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印

最后说说电路板的问题——别以为电路板就不用处理，如果不处理电路板——不管是PCB还是万用板，往往会造成难焊或者虚焊之类的问题。这种问题是最该死的，它不易发觉，而且一旦存在，就会造成电路工作不正常。但是，天晓得是哪个焊点虚焊，所以，最好的方法是老老实实焊好每个点，做好每一步处理，否则，你连问题出在哪儿都想不到。

电路板的处理，其实最简单，拿出让你准备的硬橡皮，你就在上面擦几下，你会发现，那上面原来有那么多灰尘，而且原来铜是这么光亮的——这就对了，这时你就可以焊接了。

前面说的是焊接前的处理，现在说一说焊接的手法。其实很简单，比如把元件引脚焊接到焊盘上。把元件插好后，先把烙铁头沾一下松香——时刻记住沾松香，松香是催化之物，有了它，万事好办，但是不要太多，否则，那烟实在不好闻，而且如果你没有排气扇，那气吸多了对身体铁定不好。然后，把电烙铁贴着元件引脚和焊盘放，再把锡丝往里推一推，那锡会很乖地自己填满整个焊盘四周，这时，先把锡移走，然后提一下电烙铁，等它干了，OK，搞定！这里特别提醒一下，电烙铁在焊盘上的时间不宜过长，两三秒钟就好了。如果一次焊不好，就等会再焊接。

就这样，没了——你是不是觉得很失望，前面处理了那么多步骤，最后却只是这么一点。但是我想说的是，如果没有前面那么多处理，最后一步，你绝对不可能那么潇洒地轻轻一点。

最后要啰嗦的一点是，在使用电烙铁的过程中，包括一次焊接完成，要断电之前，你都要始终给烙铁头上一层锡，总之我们要做到时刻让它有一层锡保护着，才可以避免氧化，同时方便焊接。

通俗点说，电烙铁就像一把宝剑，然而宝剑是嗜血的，所以你最好时刻喂它一点血。

还有，就是，用电烙铁的技巧不是一次两次就可以学会的，所以必须多动点手，注意不断提高自己的焊接技巧。慢慢地，你就会感到手中的电烙铁越来越听话，就是别人的电烙铁，也是那么好用。因为电烙铁很多时候不是我们能选择的，所以你只好掌握好松香和锡的特性，加以运用，便能把它玩转——这是我老师跟我说的。同样打一个比喻：所谓“名剑赠英雄”——那剑也是要选择主人的，你必须和它混熟一点，它才会听你的话。

Quanzx：其实焊锡是会“说话”的，就看你注意没有。在焊接导线的时候，如果你注意焊锡的变化，你就能看到焊锡在融化时的液态表面的变化。如果在焊锡表面还有结晶状的时候就拿开烙铁，那一定是假焊，而焊锡表面显得很光泽时是焊接质量好的标志。

另外还有一点容易忽略的是，电烙铁的保养。可以做一个简单的调压电路，使输出电压在210~200V，标准是长时间通电而电烙铁表面不氧化。这样既可以保护电烙铁，又可以提高焊接效率。

---

zhjzh72_2004：简单的调压电路，简单温度控制电路——很好！

辛昕：呃，大叔的评点果然简洁。调温那个使我想起我们协会的一师兄，他是把电压减半，用110V来保持长时间通电。大叔说的这个电烙铁调温这个事，我现在也体会到了，上次焊接那个555单稳电路时，发生了N多意外，我最烦的还是烙铁头老氧化，一点也不听话。正寻思着是买个调温电烙铁还是自己改造改造……

Lopopo：学习了，我想我的烙铁咋老发黑呢，还一直以为便宜货就这样呢，我的那把是8块钱买来的，呵呵，好的也有好几把，都藏着没舍得用呢，现在看来8块的绝对对得起那个价格了。

Capcom：介绍的都是实际经验啊，对我们初学者帮助很大。

---

lfi：最简单的温度控制是去五金店买一个电扇调速器，里面就是个晶闸管，这样外观也还行，把它接在插座前端。不焊接时调低功率就可以了，使用熟练还可以将温度控制得很好。

Zixialong：有没有焊贴片元件的好经验？这些天一直在学习焊电子元器件，贴片的居多，插脚的很少。电烙铁的保养确实很重要。另外，焊导线时，导线头蘸点焊锡膏，再用附着有焊锡的电烙铁一烫就可以了，很简单的。

Shicong：使用比较多的焊锡，然后把板子斜起来，使用烙铁从上往下拖，在芯片角的时候，拖的速度要快点。

◎张彬杰

太阳能音乐播放器

在本期杂志中，笔者为大家带来一款新制作——太阳能音乐播放器。这款制作的整体能耗很低，用一片太阳能电池板，就能直接驱动电路播放出存储卡中的WAV格式的音频文件，简单而有趣。

这个电路很容易DIY，关键元器件只有3个——太阳能电池板、AVR单片机、存储卡。

电路功能

这款太阳能音乐播放器的主要元件由太阳能电池板、SD/MMC卡和AVR单片机3个部分组成。太阳能电池板用于接收太阳光，并将太阳能转化为电能。SD/MMC卡用于存储WAV格式的音频文件。AVR单片机用于读SD卡的音频文件，并控制两路PWM，产生立体声音。使用时，可先将SD/MMC卡格式化成FAT文件系统或者FAT32文件系统，然后将8~44.1kHz的8位WAV格式音频文件复制到SD/MMC卡内。通电后，即可自动播放。如果音频文件不符合播放要求，可以使用计算机操作系统中自带的“录音机”，进行参数转换。

播放器使用USB插头供电，在有阳光的情况下，连接太阳能板供电。电源转换使用了一片1117-3.3及4片电容，把电源电压稳定到3.3V。这个电路选用了AVR的 ATMEGA8单片机作为控制器，它可以工作在3.3V的电压下。它有1kB的内部RAM，及8kB的FLASH程序存储空间。M8最高可工作于16MHz速度，它的硬件SPI接口，最高可工作在二分之一的系统速度下。制作时要在电路上焊接1个SD/MMC卡槽，方便使用SD/MMC卡。电路中使用了20kΩ的拨盘电阻，方便调节音量。电路设置的3个按钮的功能分别为“上一首”“播放、暂停”“下一首”。当然了，晚上听音乐，就需要USB电源供电了。

在这个电路中，单片机的内存最好大于512字节，因为SD/MMC卡的数据读写是以512字节为单位的。最好选用有硬件SPI接口的单片机，因为硬件SPI接口一般比软件模拟SPI的速度快。所以，笔者选用了M8单片机作为控制芯片。1117-3.3电路能选择低功耗的芯片就更好了，它就能被比较微弱的阳光驱动。太阳能电池板应选用4.5V以上的工作电压，电流要大于60mA的类型。

所需元器件及材料（见图1、表1）

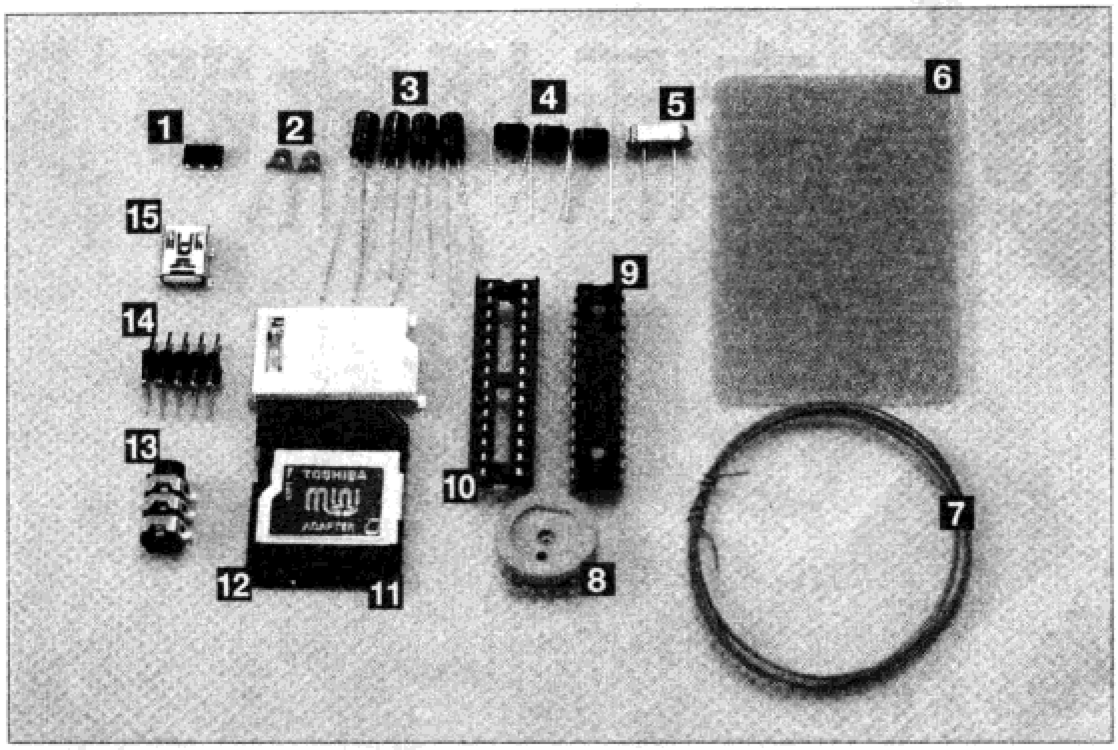


图1 所需元器件及材料

表1

编号	零件名称	数量
1	1117-3.3	1
2	0.1μF独石电容	2
3	10μF电解电容	4
4	按钮	3
5	16MHz晶振	1
6	万用板	1
7	绝缘线	2m
8	20kΩ拨盘电阻	1
9	ATMEGA8单片机	1
10	M8单片机插座	1
11	SD卡	1
12	SD卡插座	1
13	耳机插座	1
14	5×2插针	1
15	USB插座	1

电路原理

音乐播放器的电路原理如图2所示，因为电路简单，所以笔者没有用PCB，而是直接在万用板上搭建电路，元器件基本直接用导线来连接的。在实际的制作过程中，我使用了绝缘线焊接，大家也可使用漆包线焊接。2个10μF的电容起到保护、耦合的作用，可以不接。

到户外游玩时，这个播放器电路可以用太阳能板直接供电。在室内，这个电路也可以使用USB充电器或者计算机的USB接口供电，经过1117-3.3稳压后，转换成3.3V电压。如果读者朋友有3.3V的电源或3.3V的电池，也可以直接使用，还可以省去电源转换的麻烦。图3就是简单的电源转换原理图。

程序更新，我使用ISP下载线。下载口共10根插针，其中4根和单片机连接，2根用于供电，它也要经过1117-3.3稳压电路再给M8和SD卡供电。太阳能电池板就是连接在2和10这两根插针上的，其余就是给音乐盒预留的ISP下载口，见图4。

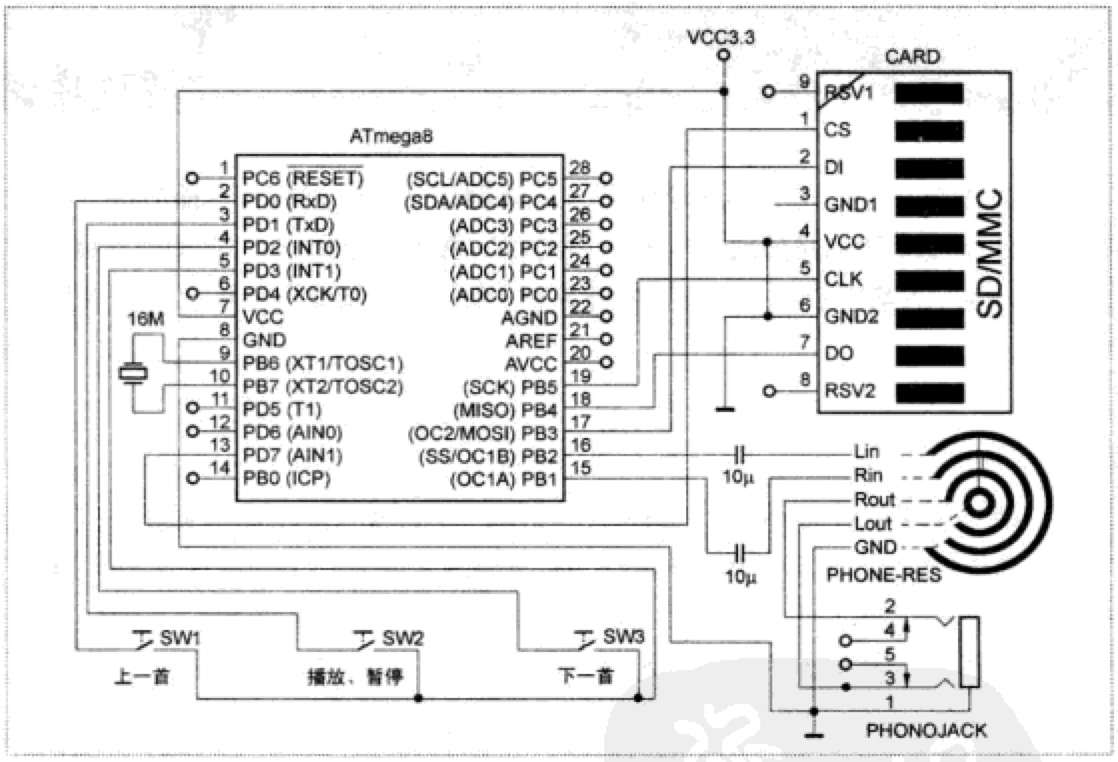


图2 音乐播放器电路原理图

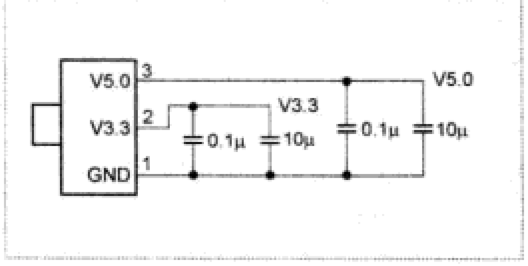


图3 简单的电源转换电路

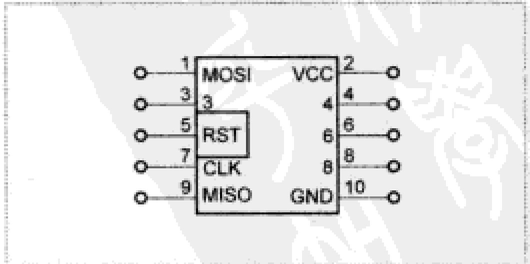
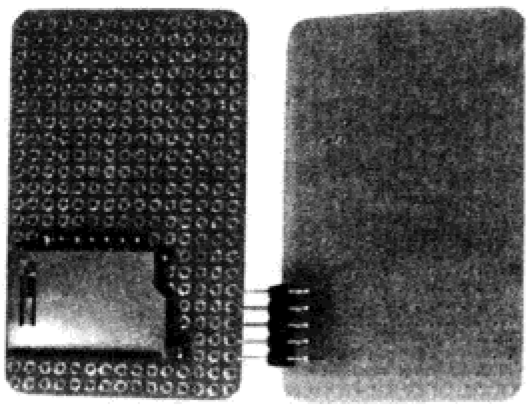
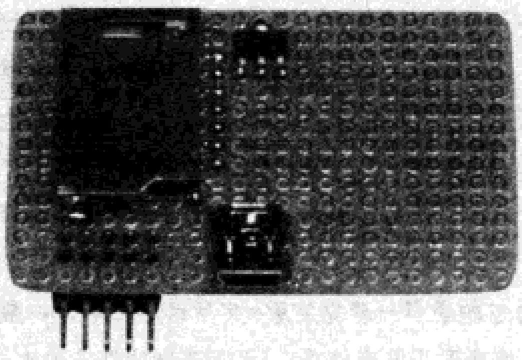


图4 下载口中的3、4、6、8插针是为ISP下载线预留的

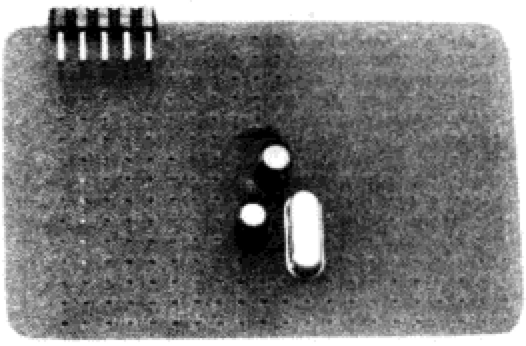
制作步骤



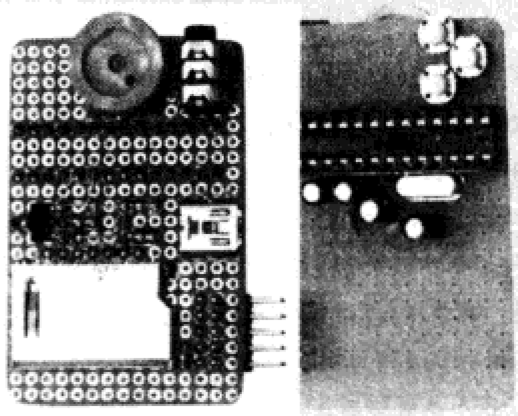
Step1：用锯子剪裁一块大小适中的万用板，并将万用板四周打磨圆滑一些，再焊接上SD卡插座、5X2插针、ISP插针。



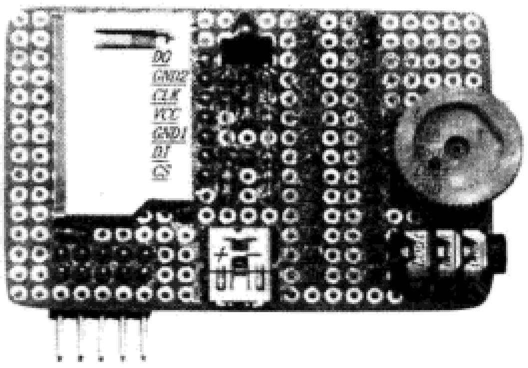
Step2：去除USB接口的数据引脚，以方便焊接，数据引脚是中间的3根，然后将USB电源插座焊接到电路板上。



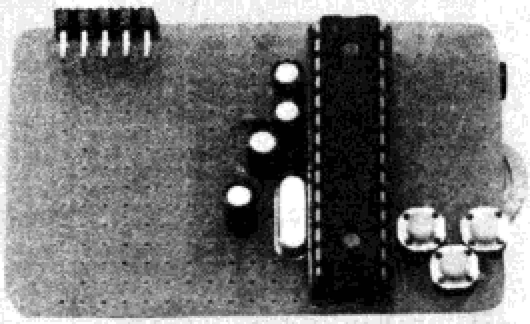
Step3：在万用板的另一面焊接贴片1117-3.3芯片、4个滤波电容及焊接16MHz的晶振。



Step4：焊接单片机插座、耳机插座，焊接拨盘电阻、3个按钮和2个耦合电容。



Step5：对照引线连接图，连接绝缘导线



Step6：在单片机插座上插上单片机后，便可通过ISP下载用于此电路的单片机程序了。

使用方法

1. 通过ISP下载线或编程器将已经编译好的程序下载到单片机里。

2. 在WinXP系统下使用FAT或FAT32文件系统格式化存储卡，复制符合要求的WAV格式的文件到存储卡的根目录下。如果音频文件不符合要求，可以使用系统自带的“录音机”软件修改一下参数，然后另存为WAV格式。系统自带的“录音机”软件操作的简单流程是：在开始>所有程序>附件>娱乐中打开录音机程序，打开WAV音频文件，然后另存为。弹出对话框后，在右下角单击更改。选择44.1kHz，8位，立体声。确定后，保存。

使用效果

给这个电路通电后，存储卡中的音频文件会循环播放。通过按钮“上一首”、“下一首”来切换音乐。按钮“暂停”可以暂停音乐播放。音量控制则是通过拨盘电阻实现。

当然，用它听音乐，感觉回到了过去，好似听磁带机。

常见问题

1. **问**：音乐播放器的音质好吗？

   答：音质和我以前用的磁带机差不多，我觉得还行。

2. 播放器的音量大吗？

   音量开到最大，会很响。不能长时间听，耳朵会受不了的。而且会听到背景噪声。

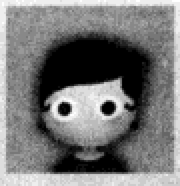
3. **问**：为什么音乐播放时声音会很卡？

   答：本次制作仅支持8~44.1kHz的8位WAV格式音乐，你播放的文件可能不符合播放要求。查看一下播放的文件格式及参数。不符合要求的话，用系统自带的录音机转换即可。

<< 上一主题 | 下一主题 >>　118 1 2 3 4 5 6 7 8 >>　⇨回 复　✧新 帖

如何选购和绕制“环牛”！欢迎砖头！（整理自音响DIY论坛）

收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印



整理：草音
加入日期：2010-05-18
帖子：666

原汁原味是音响爱好者的追求，而变压器内在品质的优劣直接影响着音响整机的重放质量，所以爱好者十分注重变压器的性能。

由于现代电子技术的发展，变压器的种类与技术特点也不断的变化和发展。近年来，环形变压器已广泛应用于家电设备和其他技术要求较高的电子设备中，具有体积小、漏磁小、效率高、内阻小、反应快的优点，它的主要用途是作为电源变压器和隔离变压器。音响爱好者常称环形变压器为“环牛”(只出力不出声，又很笨重，所以叫牛)，因为相对于其他形状变压器而言，“环牛”的漏感明显减小，高频响应较佳，相同重量的变压器，“环牛”的功率明显提高。但相对而言，“环牛”造价较高，所以爱好者更喜欢自己动手来绕制。本期推荐的这个帖子是2007年就发表在网上的，让音响DIY的爱好者受益匪浅，特摘选出来，与大家分享。

zheng1：一、铁芯尺寸估计功率：标准计算方法，*铁芯截面积2×磁通密度=功率*。复杂一些的计算方法，环牛的磁路长短和功率有很大的关系，相同铁芯截面积，洞眼大的磁路长，功率也应该大，不过磁漏也大，重量效率比也低。理论值上，洞眼尺寸和铁芯叠厚尺寸一样效率最高，功率也最接近标准值，但是存在的问题就是洞眼太小绕不下，所以现在的大部分铁芯设计的洞眼尺寸是*铁芯叠厚×系数*（1.2~1.5），这样就带来了一个问题，如何正确计算功率？磁路长了，功率增大，同时磁漏多了，功率又会减小，如何平衡两者的关系？我曾经请教了一个搞数学和物理的教师，对方给出了一套十分复杂的微积分和三角函数公式，自己计算确实比较头疼，最后根据个人经验，我得出了一个大约的计算方法：

1. *铁芯的叠厚—卷绕空隙=实际铁芯叠厚*，一般按照0.9来计算。2. 铁芯的效率，也就是铁芯的损耗，根据磁通密度不同来计算，18000高斯的铁芯大约按照0.9的效率来算（电压电流调整率）。3. 磁通密度，铁芯磁通密度达到一定程度，还没有达到最大值时，电气性能开始变坏，从这个转折点开始取值，一般18000取1.3~1.4，15000的取1.2左右。4. 断带系数（漏磁的损耗）计算，假设整带取值为1，那么2~8个断点就基本上按照0.9~0.95来计算，断点无数的最高取0.8。2个断点以内基本可以按照整带来计算。5. 磁路长短计算，比较复杂，我个人得出一个大约的估计方法，假设标准磁路长度为1，*（洞眼直径^2/铁芯叠厚^2）×0.1=磁路加长铁芯增加的功率的系数*。

根据以上5点，比较合理的计算方法应该是：（*铁芯的高度×铁芯的叠厚×铁芯的效率×断带计算出来的系数*）^{2}*×磁通密度= 标准功率，实际功率=标准功率×（磁路长短增加的系数+1的标准系数）*。

二、根据重量估计（市面上大多数产品有效，高端精品不算），100W大约1.5kg，200W约2.6kg。300W约3.5 kg。400W约4.2 kg。500W约5 kg，600W约5.8 kg，700W约6.6 kg，800W约7.5 kg。1000W约9 kg，1200W约11 kg，这些是估算值。随着功率增加，单位重量（每100W的重量）在递减。

三、根据外观估计，一般看起来圆头胖脑的质量和功率大部分不会太差，因为选用的漆包线比较粗，不可能绕成方方正正的，而且对于线圈来说，折成直角没有任何好处。如果真是棱角分明，那可是要小心了。

四、如果次级电压绕组比较少的话，就能看到初级线圈，看初级线的粗细也能估计出来一个大概。

五、还有一个办法，测量初级直流电阻，大功率“牛”的初级直流电阻一般都比较小，200~800W的“牛”应该在10Ω以下，1000W“牛”大部分都在3Ω以下。从这个参数能看出漆包线的质量和线的粗细，粗的优质漆包线的电阻要小一些。比如我自己用的大功率“牛”的初级直流电阻基本都在2Ω左右。人们所说的铜损也能从这里看出来！因为绕的圈数越多，用的漆包线越长，直流电阻越大，空载电流越小，两者是成反比的，但是咱们追求的是两者都要小，这就要均衡考虑取一个最合理的数值。以上条件符合的情况下，通电240V左右，“牛”不叫、不振动就可以了。下来咱们再测试空载电流，在相同直流电阻的情况下，空载电流越小越好。从这里能看出几乎所有的材料质量和绕制工艺，当然也不能无限小下去。

一般情况下400W以上的“牛”空载电流在10~20mA，10mA左右最好。具体测试法是:在“环牛”的初级串联一个10~100Ω的大功率电阻，次级不接负载，通电以后测量电阻两端的电压，用毫伏挡，10Ω电阻的话，10mA就是100mV，100Ω/10mA就是1000mV。空载电流越小，抗负载能力越强（抗冲击能力），抗过载能力也越强，铁芯也不容易磁饱和，同时线性工作范围也越广。但是也有缺点，在标准电压下，输出功率会减小。

所以说，音响用“牛”和工业用“牛”是有区别的，工业用“牛”只追求输出功率，音响用“牛”追求的是线性功率，通俗点说就是不失真功率。这个功率值是低于标准功率的，工业用“牛”是可以跨过线性范围工作的，因为它没有其他要求，而音响用“牛”通过特定的设计让它永远工作在这个范围内，以保证大动态输出的时候不会出现失真。也可以这样认为：800W的铁芯按照800W的参数设计绕制出来的“牛”却永远强制工作在700W左右。这也是我在（解放牌卡车兄弟）的回帖里面要求初级匝数大幅度增加的原因。说点题外话，这老兄的ID名称让我很有好感，我1987年开的第一辆汽车就是1955年出厂的老解放，它陪伴我走了大半个中国，20年过去了，我还是很难忘记这辆经常出毛病的老朋友。

解放牌卡车：兄弟这个帖子好像是为我而写的！多谢了，呵呵！慢慢看！ 。

Honghuansc：在本地绕了个“牛”，240V不叫，但是本地电压经常超过250V，甚至达到260V，想不叫都难。

<< 上一主题 | 下一主题 >>　　118 1 2 3 4 5 6 7 8 >>　　⇨回复　　✧新帖

如何选购和绕制“环牛”！欢迎砖头！（整理自音响DIY论坛）　　收藏 | 订阅 | 推荐 | 打印

zlhl2003：学习！请问zheng1兄,排除接地和线路的问题,“牛”的叫声是否会窜入音箱呢?

---

zheng1：肯定会，越高级的电路设计越明显。欢迎大家提出不同意见，共同提高，这个帖子还要不断完善，以给有这个爱好的发烧友一些帮助。

全新：学习了！想知道中间用什么塑料布绝缘，外面用什么塑料布保护?

---

zheng1：最里面用黄蜡绸，外面用高强度聚酯膜。

---

lnhsgj：好专业呀。受益匪浅！建议版主固顶！本人一直都是以“用铁量”和“用铜量”来衡量变压器设计质量的，以实际输出功率和发热量来衡量变压器表现的，看来这都只是皮毛理论，前几天还开了个帖，哈哈，班门弄斧了。

西风瘦马：绕“环牛”不外乎用优质铁芯，用合格品全新漆包线，并用足线径（实际载流密度可取3.5A/mm^2）,不要用拆机旧线（很难绕紧），放大匝数（按计算量实际初级本人按270～280V绕，应用环境电实际电压240V，220V环境可按250V绕），5或6匝并绕成一组，组间分开（就是所谓超线性绕，双线并绕可6线一组），绕线尽量拉紧，绝缘层绕足、绕紧。这说起来很简单，实际绕起来，没绕过十个八个是出不了师的。以上条件都做好的话，绕出来的绝对是优质“牛”，空载电流低，负载能力强，满载不哼不振。

机器人：学习加实践，正按此法绕个“收山环牛”。按此法绕初级的话，用粗点的铜线不好绕啊。不知楼主绕600W“环牛”初级用多粗的线?

---

zheng1：直径1.1～1.2mm足够，如果你电压放得宽，铜线就可以稍微细一些。

---

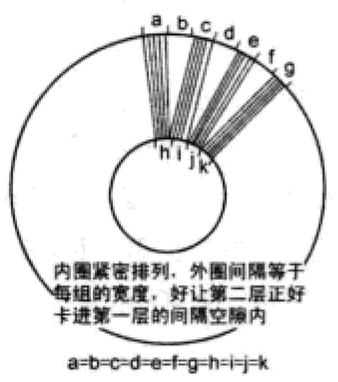
caissw:初学，有机会绕个看看，请教老郑，你能否把你绕“牛”的所有工具都发出来看看。我就见到一个铁钩。

---

wxiuhe131：铁钩是比较简易的工具，可以做梭子的材料很多，像绝缘板、有机玻璃、木板、塑料板等，实在找不到也可以用结实的厚纸板用胶带加固后代用（只适合绕小牛）。

---

zheng1：最简易的是梭子，其他的就是黄蜡绸和聚脂膜还有胶带，热缩管。



---

wbggrt：感觉断带损耗有些大，但没有实验过，本人认为应该说2～5个断点与整带没有什么区别的，但最好有条件者经过实验确认。

---

zheng1：说的是，断带损耗确实很大，断点漏磁比较高，我记得小时侯玩磁铁，把一个磁铁砸成两半，原来以为，两个断面应该互相吸引，结果正好相反，断开的地方互相排斥，而且断点部分存在一个问题，就是断点泄漏出来的磁场被周围硅钢带二次吸收，造成干扰。XX变压器厂家做过专门的测试，整带的要比断带的效率高30%!

---

lyb886：请教“环牛”屏蔽层的绕法。初、次级之间的屏蔽，次级绕完以后的屏蔽，有什么高招？我正准备用加拿大PLITRON隔离“牛”（840VA）重绕次级，改成功放“牛”。

---

ning000：想问一下，在做“牛”的过程中，一大捆线如何反复多次穿过“牛”中间的孔啊？请问用什么方法最方便啊，如果预先准备的线不够长又得续一段，如果预先准备得多的又浪费，整一捆线又穿不过中间孔。请问你是怎样处理的?

---

zheng1：要做全屏蔽的话，只能把铜皮剪成长条，和漆包线一样的绕法。半屏蔽就好说了，在最外围包裹一层铜皮就OK。建议采用第二种，第一种屏蔽做法只适合用在前级，用在大功率“牛”上，效果很清淡！

残刀：先绕1匝，量一下看多长，再乘以所需匝数，就是总长度了，再除以梭子1圈的长度就是梭子上的圈数，如果怕不够，多计算一两圈就行了。

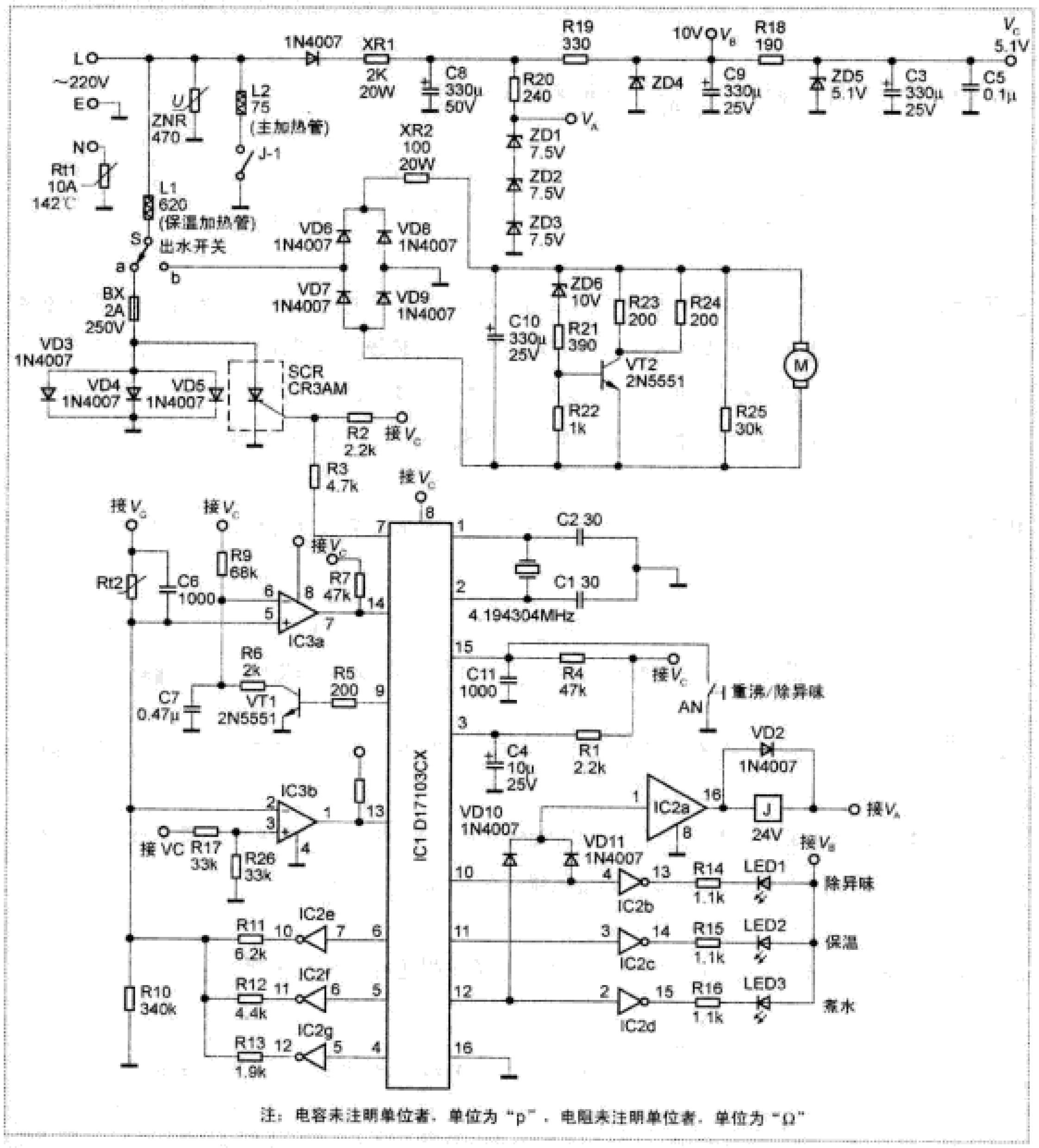
自己动手检修电热水瓶

◎王绍华

随着电子科技的发展很多家庭用电热水瓶取代了传统的热水瓶，本文以三星SX-B3L型电热水瓶为例介绍其检修方法。

一、工作原理

三星SX-B3L型电热水瓶采用微电脑控制，具有电路新颖、功能齐全的特点，在许多家庭、宾馆、招待所、会议室均有应用。该电热水瓶的工作原理不复杂，其电路原理图见图1。工作原理：220V市电由三眼插头L、N两端输入（ZNR为压敏电阻，防止市电过压损坏电路，Rt1为10A、142℃超温保险电阻，用于防止电路短路而出现事故），经VD1整流、XR1降压，C8滤波后，一路经R20限流、ZD1～ZD3串联稳压后得到22.5V电压V_A，作为继电器工作电压，另一路经R19限流、ZD4稳压后得到10V的电压V_B，作为显示电路工作电压。10V电压再经R18限流、ZD5稳压后得到5.1V电压V_C，作为控制及检测电路的工作电压。因XR1、XR2功率较大，工作时发热量大，故将其紧贴于瓶壁作为辅助加热，以充分利用电能。只要接通电源，保温加热管L1即开始对瓶中的水加热（出水开关S未按下时与a点接通，按下时与b点接通，手松开后自动复位再与a点接通），电流经L1→出水开关S、a→保险管BX→单向晶闸管SCR→地形成回路，加热功率约为140W。此时微处理器IC1（D17103CX）的7脚输出高电平，触发SCR导通。而主加热管的工作状态取决于负温度系数热敏电阻Rt2的阻值，Rt2紧贴在瓶底，在常温状态下其阻值在几十千欧（实测22℃时为60kΩ）。通电后IC1的4～6脚会输出幅度与时



附图　三星SX-B3L型微电脑电热水瓶电路原理图

序不同的脉冲电压。经逻辑集成电路IC2（CD1413，其9脚为空脚）之一的IC2e、IC2f、IC2g倒相后在R10两端合成为阶梯波电压。当Rt2为60kΩ时，合成的阶梯电压分别为0.15V、0.34V、0.47V，并加至四运放IC3（LM324只用了其中两个）的5脚和IC3的2脚，于是IC3 a输出端（即LM324的7脚）输出低电平，也就是IC1的14脚为低电平。IC3 b输出端（即LM324的1脚）输出高电平，也就是IC1的13脚为高电平。IC1据此判断热水瓶中水需进入煮水状态，其12脚输出高电平。该高电平一路经隔离二极管VD10加至IC2a的1脚（即IC2a输入端），则输出端16脚为低电平，于是继电器J通电，常开触头J-1吸合，主加热管通电工作（加热功率为700W），电热水瓶开始煮水。与此同时，另一路加至IC2的2脚，则输出端15脚也输出低电平→红色煮水指示灯LED3点亮，表示电热水瓶已进入煮水状态。随加热的不断进行，Rt2的阻值逐步下降，IC3的2脚和5脚分压逐渐升高。当Rt2≤1.75kΩ，也就是水沸腾

时，IC3的1脚输出低电平（即IC1的13脚为低电平），IC3的7脚输出高电平（即IC1的14脚为高电平），IC1据此判定水已沸腾，需进入保温状态，于是12脚输出低电平→IC2的1脚为低电平→输出端16脚输出高电平→继电器活动触头J-1释放→煮水加热停止。与此同时，由于IC2的2脚为低电平，所以输出端15脚为高电平，煮水指示灯LED3熄灭。同时IC1的11脚输出高电平（即IC2的3脚为高电平），则IC2的14脚输出低电平，橙色保温指示灯LED2点亮。此时仅保温加热管经3只1N4007二极管半波整流对水加热，加热功率约为35W（此时IC1的7脚已输出低电平，使单向晶闸管因触发极为零电平而关断），水温不会超过92℃，主加热管停止加热后，Rt2的阻值会重新增大，IC1会根据13、14脚接收到的阶梯波形作出判断，并使水瓶重新转入煮水状态。在保温状态下，若按下“AN”键（可自动复位重沸/除异味键），则IC1的15脚为低电平，9脚输出高电平，三极管VT1导通，使IC3的6脚电位瞬时变低，则7脚（即IC1的14脚）电平必然发生变化，IC1据此使电热水瓶重新转入煮水状态。不过，同时IC1的10脚也输出高电平（即IC2的4脚为高电平），IC2的13脚输出低电平，绿色除异味指示灯LED1点亮。若在绿灯点亮期间再按一次“AN”键，则加热立即停止，自动转入保温状态。若不按“AN”键，则要加热至水沸腾后才能自动进入保温状态。当要取水时，可按下出水开关S（手不松，置图1中b位置），此时市电经保温加热管L1降压、VD6～VD9整流，XR2限流，C10滤波后作为出水电机工作电源。在电机顺利启动后电压在12～16V。图1中ZD6、VT2、R21～R25等组成并联稳压电路。当电机两端电压小于10V时，VT2不导通。当电压大于10V时，VT2会随电压升高其导通程度加深，分流作用加强，从而稳定了电机两端电压。当茶杯中水接满而松开按下的手指时，电机会停转，出水口也同时停止出水。顺便提及：IC1的1、2脚为时钟振荡端，3脚为复位端（低电平有效），15脚为功能选择端，8脚为电源端，16脚为接地端，其余文中均有提及，在此不再赘述。

二、常见故障与检修

该电热水瓶无论出现什么样的故障，都应先检查电源V_A、V_B、V_C的电压是否正常，在确保电压正常的前提下再进行相关故障的检修。该电热水瓶常见故障有：

1. 通电后不煮水

该故障有两种表现：一是通电后红色煮水指示灯 LED3 不亮，主加热管 L2 也不加热。这种情况说明控制电路有故障，可检测 IC1 的 13 脚、14 脚是否分别输出了高、低电平。若不是，应检查 Rt2、R10 是否正常（R10 易发生阻值增大和开路的现象）。Rt2 的检查，可边用电吹风对其进行加热，并检测其阻值，阻值应从几十千欧逐渐减小至几千欧，否则说明有问题。若 R10、Rt2 无异常，应再检查 IC3 周围阻容元件及 IC2 输出端电阻 R11 ～ R13，若正常，在测得 IC3 的 3 脚电压大于 2 脚电压和 6 脚电压大于 5 脚电压的前提下，可判定 IC3 损坏。若 IC3 输入端 2、3、5、6 脚电压不正常，应检测 IC2 输出端 10 ～ 12 脚电压，通常应为小于 1V 的低电平。若异常，可更换试之（IC2 还可用 TD62502/3 替换）。如果故障仍不能排除，应再查 IC1 的复位和时钟振荡电路，特别是复位延迟电容 C4 是否失容漏电，晶体振荡器是否漏电变质。若通过替换法检测无效，则可能是微处理芯片 IC1 损坏。但实践表明，只要加在 IC1 的 8 脚电压不是过高，IC1 损坏很少见。

第二种情况是通电后红色煮水指示灯能点亮，但主加热管不能加热煮水。这种情况说明控制电路基本正常，故障可能在执行电路。可查IC2的1脚是否为高电平，若为低电平，则可能是VD10开路。若IC2的1脚是为高电平，而16脚仍为高电平，则是IC2 a损坏。若16脚为低电平，继电器已吸合，则可能是触点（J-1）氧化或烧蚀或主加热管接线开路，可检查排除。

2. 不能保温

该故障有三种表现：一是保温指示灯亮，但不能保温（温度一直下降）。这种情况很可能是保温执行电路开路，比如开关 S a 触点接触不良、保险管(2A/250V) 熔断；第二种情况是保温期间温度很快超过 92℃，水又沸腾。实践表明，这主要是单向晶闸管 SCR 过热击穿。建议更换电流更大的，比如 CR6AM；第三种情况是保温指示灯不亮且一直升温至沸腾，这种情况多数是 Rt2 不良，可在 Rt2 两端并联一只几十千欧的电位器，微调电位器模拟 Rt2 在保温时的阻值（应小于 2.8kΩ），看 IC1 的 11 脚能否输出高电平、10 脚输出低电平，以确定故障范围。

3. 按下出水开关，不能出水

这是本电热水瓶最常见的故障，这时测电机两端电压往往低于 8V。其主要原因是水垢在泵内沉积造成叶轮旋转时阻力过大，甚至将叶轮卡住停转所致。除定期清除外，可将电机电源改为变压器供电（变压器次级电压 24V，功率 5W），整流、滤波后改为用三端稳压器 AN7815 稳压供电。实践证明，该故障大大减少。该故障还有一个故障点就是出水开关动触头与内部 b 点接触不良，导致电机时转时停，这种情况可向开关内滴几滴触点清洁剂（化工药品店有售，能迅速减小开关触点之间的接触电阻）或干脆更换新品。

维修手机万能充电器的经验点滴

◎吴晓波

最近本人在维修手机万能充电器时，在更换了损坏元件，仍然没有修好的情况下，通过绘制电路图进行分析，终于把充电器修好了。我觉得维修过程对初学者可能有一定的启发作用，故写出来供大家参考。

该充电器是高压部分的电路发生了故障，一般，充电器高压部分的电路如图1所示，它的工作原理在此就不再多阐述了，要想知道的朋友可参阅其他资料。

根据维修经验可知,其中最容易损坏的元件是VT1、VT2和R1，随即对其进行检查。经检测发现三极管VT1和电阻R1均已损坏，随即找了相同阻值的电阻（10Ω）和相同型号的三极管（MJE13001），按照印制板字符面对应的符号位置，逐一焊上,见图2。

本以为到此为止，已大功告成! 可是通电一试，仍然不见好转，再把其他元件都检查一遍，发现所有元件均是好的! 维修工作一时陷入僵局。最后只有采用老办法：实际测绘电路，再进行分析。

按照印制板绘制出的电路图如图3所示。仔细将该图与一般的充电器电路图对比，终于发现了问题所在：原来是VT1的基极与发射极接反了！把VT1转180°重新焊接好，充电器就修好了。

现在总结一下维修失败原因，其实就是VT1三极管（MJE13001）的管脚排列不一致。损坏的三极管，它的管脚排列如图4（a）所示，而换上的三极管管脚排列如图4（b）所示。照印制板字符面的符号焊上，自然就错了。希望大家以后要特别注意，以免多走弯路。

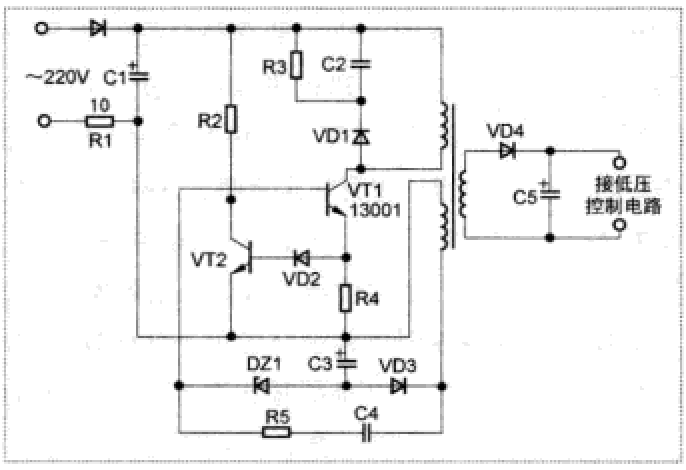


图1

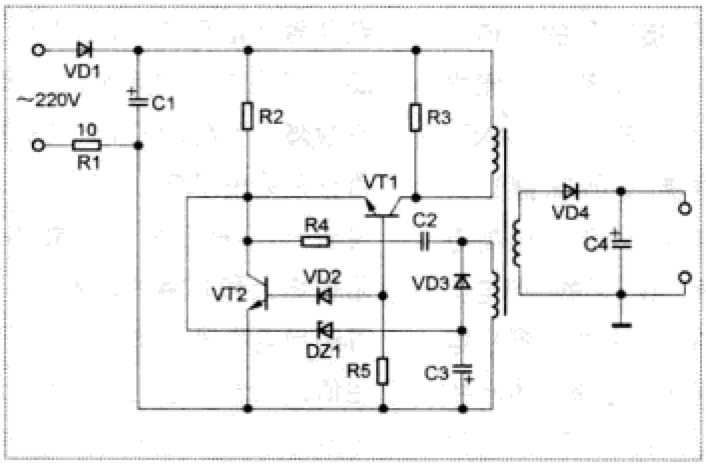


图3

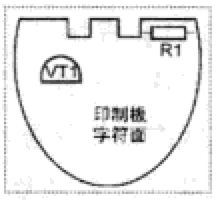


图2

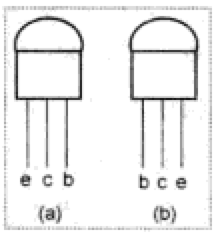


图4

给您提个醒 如履薄冰换管座

◎段丽红

彩电和彩显的管座漏电在维修中是司空见惯的现象，当管座漏电后会导致出影慢、图像模糊，严重时会引起打火、放电等现象，如果不及时更换管座，则会引起显像管护套漏电甚至烧焦碳化，这样再处理起来就比较麻烦了。最近一次换管座的经历又一次提醒我们一定要谨慎对待这个问题。

我曾帮朋友修理一台出影慢的长虹C2169F彩电，这样简单的故障本来是可以手到病除的，但是，该机器原管座铜绿和锈蚀严重，而且显像管绝缘护套也没有了，拔下管座十分困难，显像管的聚焦极已经和管座聚焦极的插孔锈蚀在一起，把管座聚焦极的插孔卸掉后才艰难取下管座，然后才把显像管的聚焦极和管座聚焦极的插孔分开。由于没有了护套，聚焦极引脚已是铜绿锈迹斑斑。经过仔细清理后，新管座还是插不进去，也不敢用力，只好在显像管管脚涂上硅脂润滑，在显现管管脚的底部也涂上一层硅脂，开机发现聚焦极处有打火的现象，于是在管脚的底部重新涂了厚厚的硅橡胶，感觉这样固化后就比较牢靠。但令人遗憾的是还是有打火的现象……郁闷！难道就没办法了吗？思来想去，打火肯定因为绝缘不好，硅胶没问题啊，那么问题还是在一开始的铜绿和锈蚀的清理上，好像原来剩余的连接护套和显像管的一点粘合剂没有除净，虽然用酒精进行了清理，表面干净了，但质地是不是碳化了。带着这种猜测，这次干脆把所有的地方都进行了小心仔细的清理，直到尾部露出明亮的玻璃体，最后在聚焦极的底部再重新涂了厚厚的硅胶，再试机，大功告成。

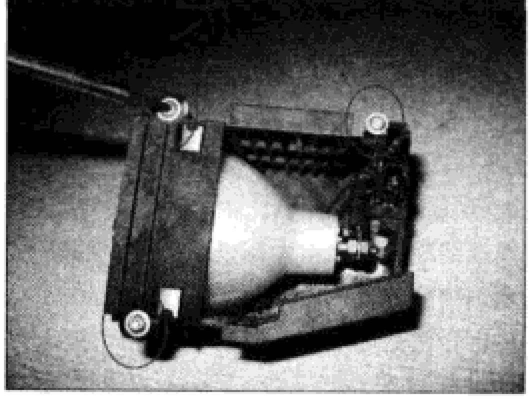
一根铜丝救一个投影机灯泡

◎华良云

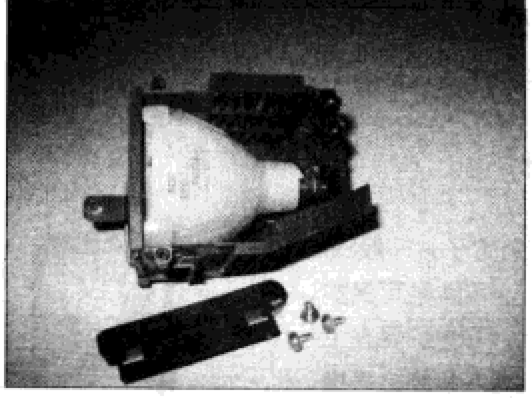
这是一个因灯芯引线烧断的投影机灯泡，该灯泡价值不菲，又正值壮年，就此报废绝对可惜。

下面看看我的救治过程：

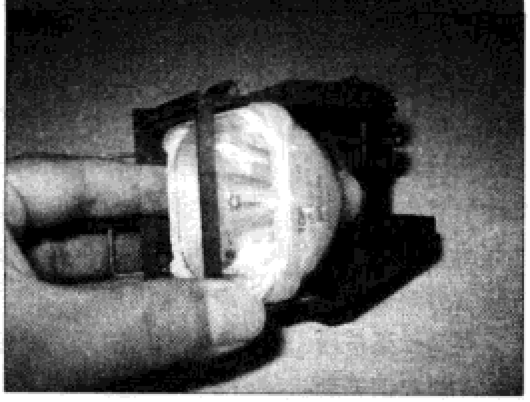
(1) 卸下三颗螺丝。



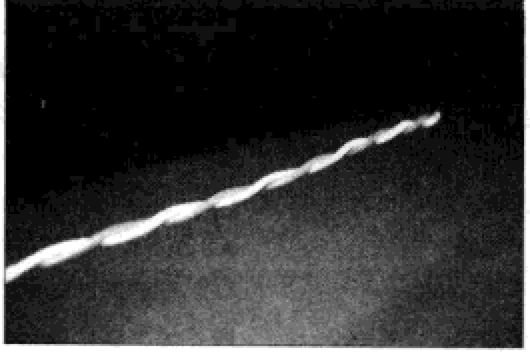
(2) 取下盖板。



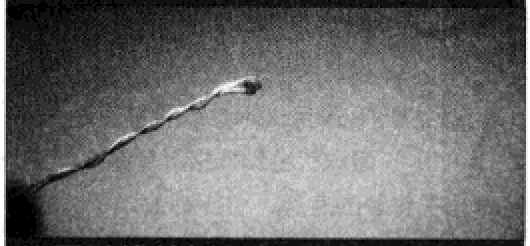
(3) 取出灯泡。



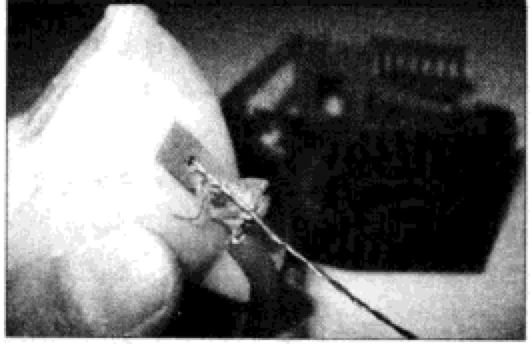
(4) 用五类线（就是通常说的网线）的芯线去皮后如图缠绕。



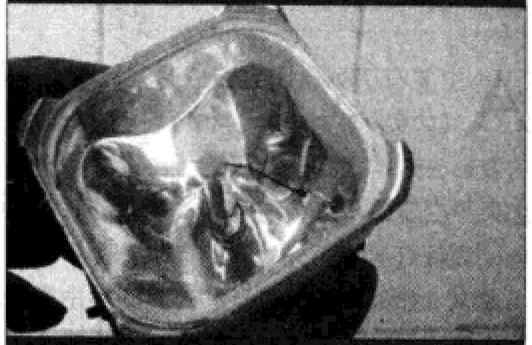
(5) 独家秘笈：抹上点焊锡膏。



从原引线处插入灯泡。



(6) 关键点到了：使其涂焊锡膏部分与原引线断点接触，细心操作，要保持有轻微的接触力。



这一端固定牢靠，剪去多余部分。

(7) 最后按顺序装回，一只死而复生的灯泡又可以投入了战斗。

小结 这是一款飞利浦3132投影机的灯泡，价格2000元左右。按以上流程操作，开机时，在灯泡启动电压的驱动下，灯芯引线与铜丝接触处会击穿打火，产生瞬时高温，在焊锡膏的帮助下，自然完成一次引线焊接过程，可谓巧夺天工。焊接后的灯泡经过实用，经久耐用，完好如初，此补救方法也适用其他同类型灯泡。

Q&A 问与答

Q 有一款昂达989+型MP4播放器，原来使用一直正常，后来不慎失手跌落在地，所幸外壳和屏幕完好无损，但是开机后白屏，也不能播放音视频文件，这是何故？怎么修理？ （黑龙江　高福民）

A 昂达989+采用BGA封装的主芯片——JZ4732。BGA（Ball Grid Array）即球状引脚栅格阵列封装，是一种高密度表面装配封装技术，在封装的底部，引脚都成球状，并排列成矩阵样。JZ4732有193个“引脚”（正确讲是193个球状触点），与印制板相应的触点焊连。如果因为摔跌等原因而使播放器受到较大外力冲击，就很可能使主芯片和印制板一部分焊点脱焊，从而造成所述故障。维修这种故障通常需用热风枪，一般只要将热风枪对着主芯片吹几下就能使脱焊点复通，有些脱焊点较多或较严重的播放器，就需重新植锡和补焊。需要注意的是，热风枪需要经验才能运用自如，平时应该在报废机器上多多练习。 （王德沅）

Q 有一台三星微波炉，机内的高压保险丝老是被烧坏，每次新购的同规格0.8A/5kV熔丝，使用没多久就被烧坏，至今已烧坏了4根保险丝，经检查高压电源电路各个元件基本都正常，曾经调换过高压二极管和电容也无效，这是什么原因，怎么解决？ （南京　陈翔）

A 主要有下列原因会造成这种故障：一是高压保险丝质量不佳（如实际规格与标称值不符等）。现在假货多见，应到信誉好的商家去选购。二是高压变压器存在漏电故障，但是一般较少见，如果是变压器不良，通常应该换新。三是磁控管灯丝与管壳存在漏电，测量灯丝与管壳之间的电阻，正常为无穷大，如果有阻值，说明漏电（如果磁控管灯丝和外壳间被击穿短路，开机就会烧断高压保险丝）。对于漏电的磁控管，可拆开底座修理，只要清除造成漏电的污垢就可。如果磁控管损坏严重，修复可能小，就应该换新了。此外，磁控管打火、云母片积垢，或微波炉经常干烧、少烧（食物太少），也容易烧断高压保险丝，使用时必须注意。

（王德沅）

Q 一台航天牌双门电冰箱的机械温控器经常损坏，每次损坏原因都是“感温头”漏气，最近一年已经换了3个温控器。这究竟是什么原因？能否杜绝这种现象？

（浙江　苏宝池　彭宏达）

A 这种故障比较常见，原因也容易被忽视，主要是调换温控器时没有给“感温头”套上保护塑料管或保护管漏水所致。由于“感温头”安装在蒸发器上，经常受到水和冰霜等的侵蚀，如果不用保护套管，就很易被腐蚀而导致漏气损坏。所以只要在安装温控器时，将“感温头”和“感温管”套上优质的塑料管，并且避免划伤划破塑料管，这样就可大大延长温控器的使用寿命。 （王德沅）

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 有一台艾美嘉电磁炉，机内的电源模块VIPer12A老是被烧坏，新购的同型号集成块，使用没多久就被烧坏，至今已烧坏了3块集成块，经检查电源电路元件都没发现坏的，再不敢贸然调换，不知何故？怎么解决？

（山东　严杼予）

A VIPer12A是开关电源集成电路，用来将市电变换成18V 和5V 的直流电压，输出给相应的电路作为电源。如果VIPer12A屡屡被烧坏，在18V 和5V负载电路正常的情况下，主要有下列原因：一是集成块质量不佳。现在假货多见，应到信誉好的商店处选购。二是市电不稳定，经常有浪涌电压进入，对此可用稳压器解决。三是芯片安装不良，5~8脚是芯片内开关管的漏极，兼做散热脚，有人认为4脚都连通的，在焊装时只连接其中一两个引脚，这样就不利于散热，容易造成芯片过热损坏。应该将4个引脚全部牢固焊接至印制板上，以确保芯片通过引脚和铜箔散热。 （王德沅）

Q 问：我家的澳柯玛天然气灶，改造（煤气改天然气）后点火器电池一个月就得换一次，而邻居的同样牌号电池都可用一年以上，我家换下的电池装到邻居家的燃气灶竟然还能用半年。改装人员说：“改造后的就是这样”，是这样吗?怎么解决？ （上海　袁长军）

A 如果没有持续打火，肯定是点火系统漏电所致，与改气种无关。使用电池的燃气灶一般采用连续脉冲放电型点火器。点火器在点火时的电源总电流为80~150mA（一节5号电池的使用寿命1年左右）。如果电源电流远大于150mA或在不点火时也有电源电流，说明电路中存在严重漏电或短路现象。漏电大都是点火器内部进水或电池漏液引起的，用无水酒精仔细清洗后就能排除故障。此外，点火器内的开关管性能不良也会使耗电增大，还会影响打火强度，应予以更换。 （王德沅）

Q 半年前在超市的促销活动中我奖到了一片东芝2G的SD卡，最近想把SD卡作为数码相机的储存卡，但是插入后提示“锁定（LOCK）”，这是为什么？是否SD卡已损坏？怎么解决？ （广东　章家辉等）

A 这是SD卡被写保护锁定了。一般SD卡都有“写保护器”（也称写保护移动片等），如附图所示。写保护器在上面为正常状态，可以执行写入和删除等操作。拨下来就是写保护状态，只能读取不能写入。所以，只要把写保护器拨到上端就可解决问题。有些SD卡因为使用不当等原因而导致写保护器被卡住而不能拨动，对此可用小刀和针将异物剔除就行了。

（王德沅）

前言：在提笔之前，上网做了一下搜索，没有发现详细讲述维护激光打印机激光组件的文章。根据多年的使用经验，笔者认为在激光打印机的使用过程中，此项工作非常重要，遂作此文，希望对大家有所帮助。

激光打印机中激光组件的日常维护

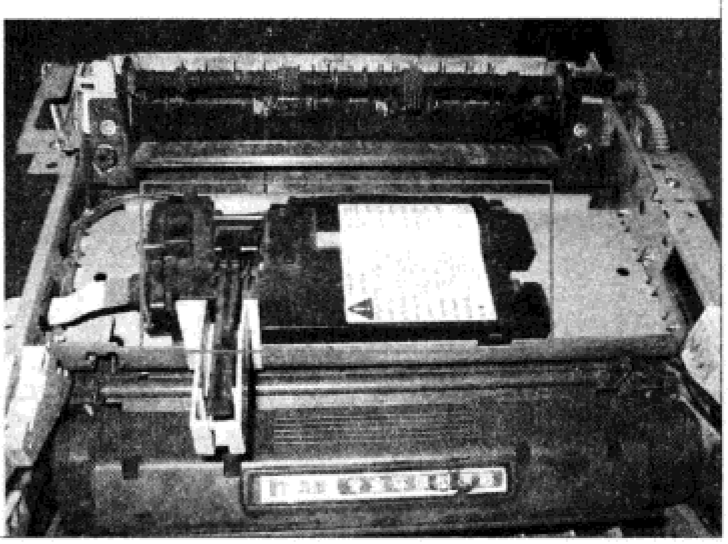
◎华良云

激光打印机已是办公室的必备设备，长期使用，维护工作是不可避免的。一般用户在维护打印机时都把目光集中在硒鼓部分，最常见的是充装碳粉，再就是换鼓芯、换刮板、充电辊等，很少有人注意到打印机的激光组件。激光打印机，其激光组件自然在整个打印机中扮演很重要的角色。我们的图形或文字都是通过该组件这支发出激光的神奇“笔”画到硒鼓的鼓芯上，进而与碳粉作用转印到打印纸上的。如果光束变弱，肯定会影响打印效果。当你发现打印机**换新硒鼓后打印效果不如从前，如硒鼓寿命明显缩短、打印的文稿图文暗淡，或者是出现规律性的纵向条纹、规律性的横向不均匀颜色，即使更换硒鼓后现象也依旧**等情况，那就是激光组件出问题了，这时只要维护一下该组件，保证旧鼓现新颜，打印机会重新恢复青春。

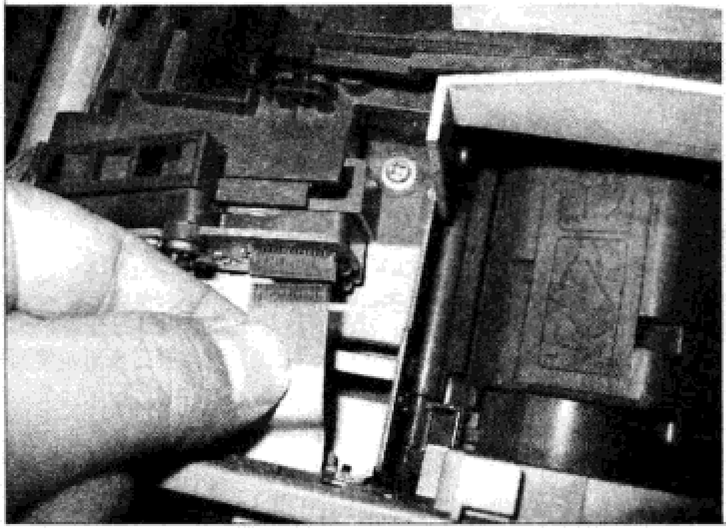
激光组件位置比较隐蔽，但维护比较简单，下面简述激光组件的维护过程。

首先要打开打印机的外壳，不同打印机的外壳打开方法不同，这方面内容以前已有很多文章介绍过，在此不再赘述。总之只要仔细观察，了解几个螺丝和卡扣的作用，打开打印机的外壳并不难。

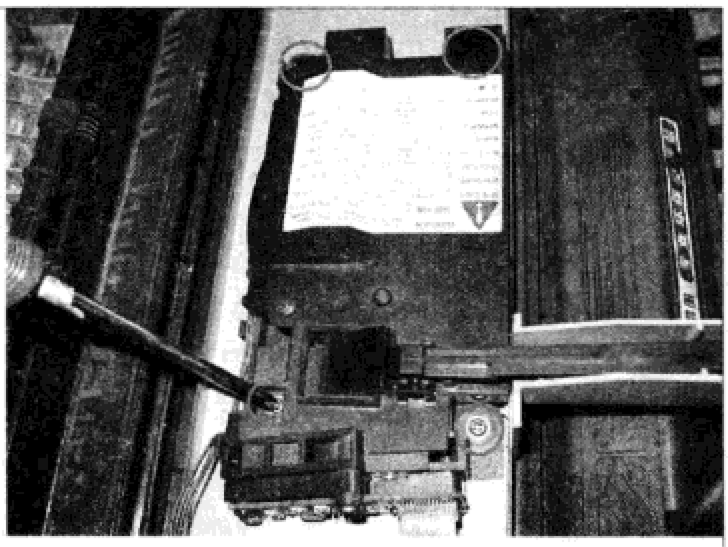
激光打印机的激光组件一般都



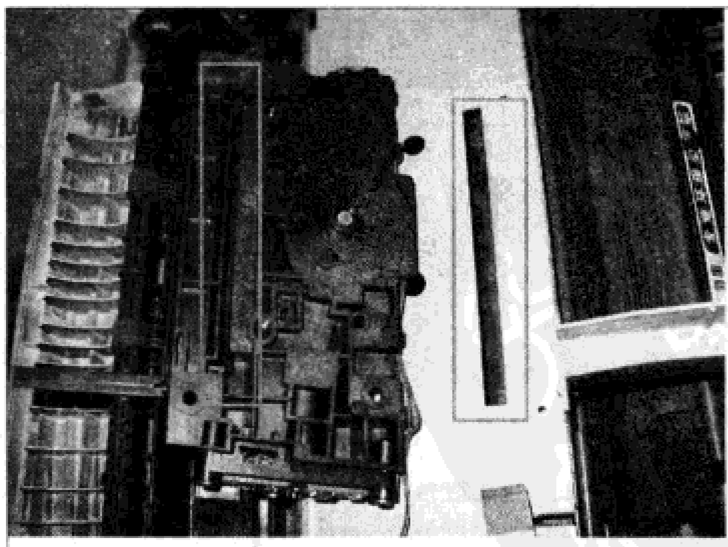
方框区域内为HP1150型激光打印机的激光组件



拆卸时，先拔下数据排线



然后卸下4个固定螺丝

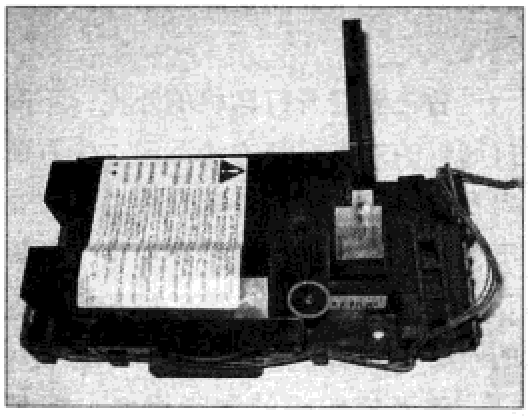


方框区域内为组件激光出口（左）和激光照射硒鼓的通道口（右）

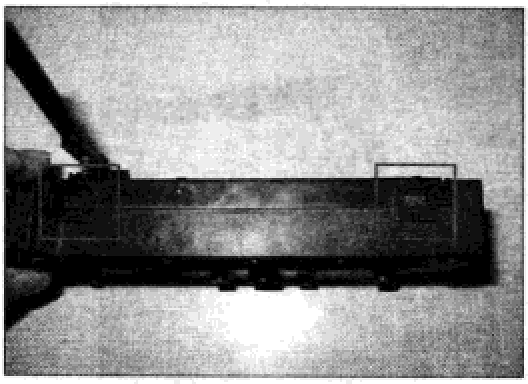
在打印机的顶部，不同型号打印机的激光组件也大同小异，本文介绍的是HP1150型激光打印机的激光组件。

从组件构造可以看出，它是一个开放式结构（不密封），外界的灰尘（包括碳粉）很容易从激光出口通道

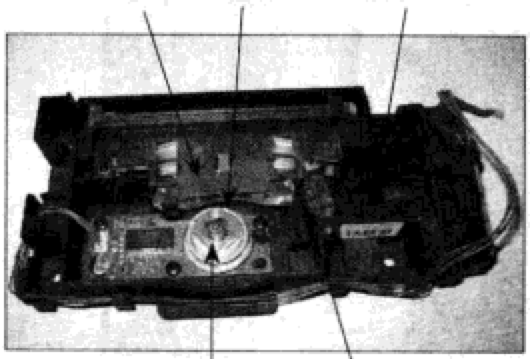
1 首先取下激光组件并卸下组件盖固定螺丝。



2 撬开前后4个卡扣后打开组件盖。

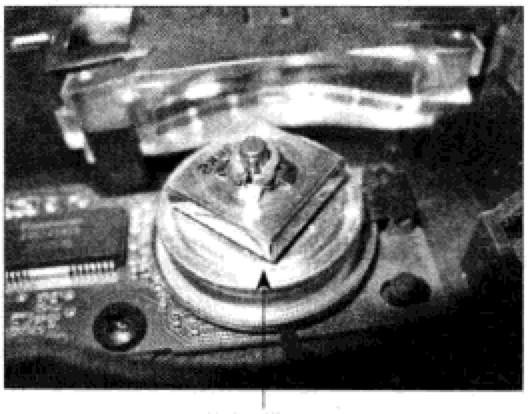


3 激光组件内部结构有：反射镜、透镜组、激光口、旋转反射镜。



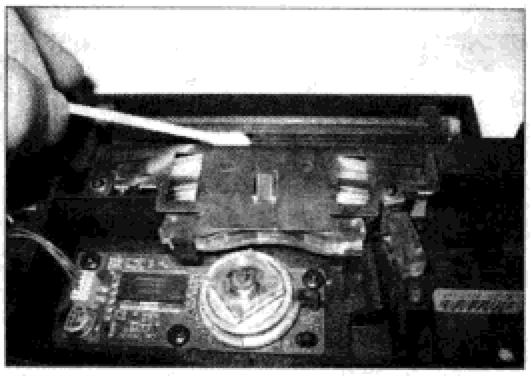
组件内部结构

进入组件内部，污染组件的光学透镜和反射镜，自然会造成激光在传递过程中衰减，引发前面提到的故障，因此我们只要给组件内各种光学镜片除尘就能达到维护的目的，现在图解一下除尘过程：



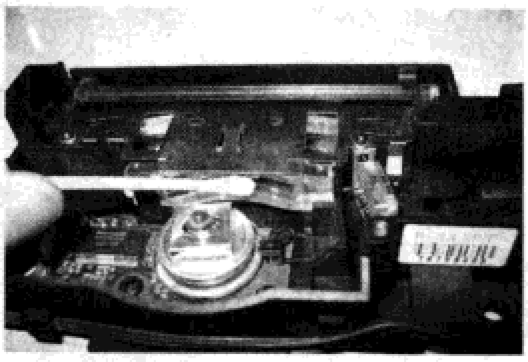
旋转四面反射

4 用棉棒或麂皮轻轻擦除各种镜面上的尘垢（棉棒下方即是组件激光输出口）。

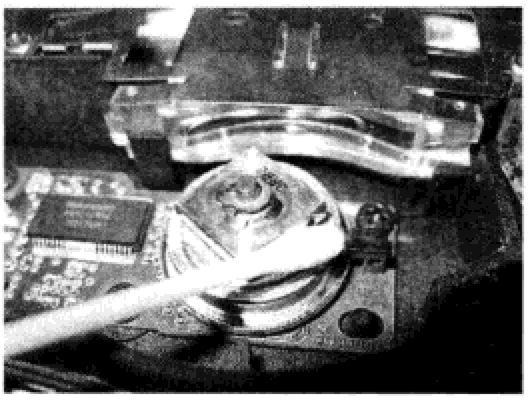


清洁固定反射镜镜面上的灰尘

此镜片是激光在组件内传递的最后一关，它最靠近组件激光输出口，最容易受到外界灰尘污染，因此对它的清洁尤为重要。



清除透镜组上的灰尘（共3个透镜）



清除旋转反射镜四个镜面的灰尘

清洁过程要求耐心、细致，动作轻柔，既要将灰尘全面清除干净，把镜面擦亮，又要保证不在镜面上留下划痕。

清尘工作完毕后，即可按拆卸的反过程装回激光组件，接好数据插线，再安装好打印机外壳。检查无误后装入硒鼓，通电测试。

后记 不同型号的激光打印机，激光组件的位置可能不同，但原理构造都差不多，都是工作在一个开放式结构（不封闭）里，通过透镜和反射镜传递信息，指挥工作。因其一般都靠近打印机的散热风扇，而且用久了的打印机，硒鼓还经常有漏粉现象，再加上工作环境也不是那么干净，激光组件内部受到灰尘污染也属正常，甚至蜘蛛在激光组件内做窝（这种极端事件也是发生过的）。因此对激光打印机而言，定期清洁激光组件十分必要且意义重大。清洁后，激光传递过程中的衰减变小了，射到硒鼓上的光束变强了，当然能提高文稿打印质量，使图文颜色更深、对比度更鲜明、细节更清晰（镜面尘垢会吃掉图文细节），还能延长硒鼓（也是打印机中最贵的耗材）的使用寿命（不是我鼓不行，而是你光不强），从而大大节约打印成本。对打印量较大的打印机，更要定期进行此项工作。维护后的效果保证会让你眼前一亮。

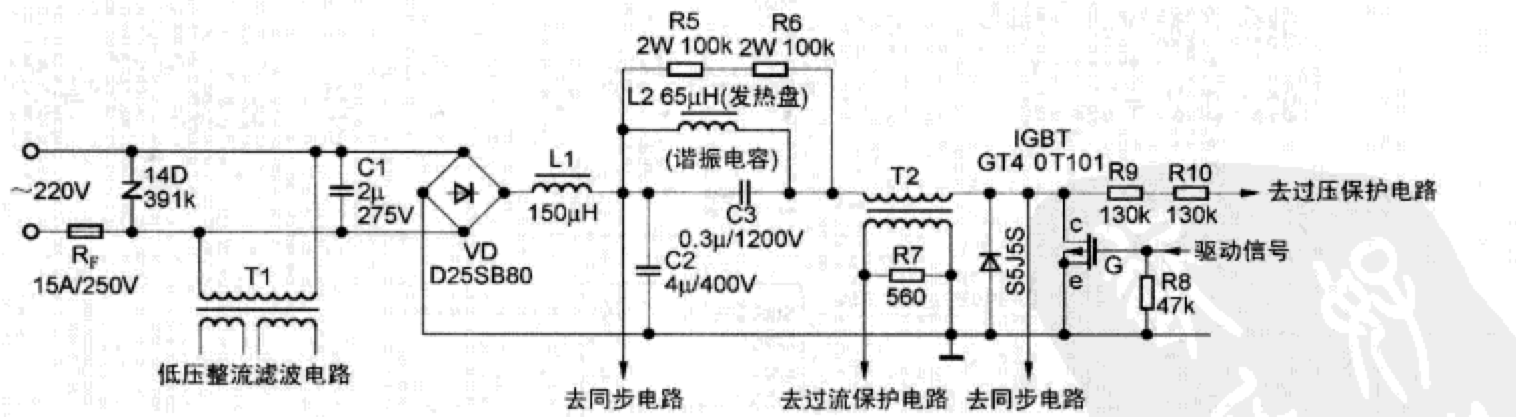
九阳JYC-18X电磁炉检修一例

◎王绍华

一台九阳JYC-18X电磁炉在使用中突然停止加热，所有指示灯和数码管均不亮。经查，市电交流输入保险管FB（15A/250V）已发黑性熔断，看来机内存在严重短路故障。进一步查得整流全桥VD（D25SB80）已击穿，这部分电路见附图。当焊下整流全桥再测整流全桥直流输出端，即C2（4μF/400VDC）两端直流电阻，发现几乎为零。判断是滤波电容C2或阻尼二极管VD1或IGBT管（GT40T101）击穿。经逐一焊下检测，果然IGBT管e、c极已击穿，而击穿IGBT管的原因是多方面的，主要有：（1）IGBT管高压保护电路失效，常见原因是与IGBT管c极相连的2W五环精密电阻开路或虚焊，经检查未发现异常。（2）前置驱动电路故障，主要是这部分的15V或18V电压丢失或推动管损坏（有的采用推动集成电路，比如TA8316S），经测量均正常。（3）谐振电路故障，常见为谐振电容0.27μF/1200V或0.3μF/1200V失容或击穿，经检查未发现问题。（4）同步电路故障，该电路作用是保证加至IGBT管G极的开关脉冲与加至IGBT管的c、e极脉冲的后沿同步，以保证IGBT管在c极电压最低时导通。该电路主要由一组电压比较器（LM339）和接在发热盘线圈两端的大功率高阻值（2W、200～330kΩ）电阻等组成。常见的是大功率电阻开路或虚焊或变值。但检查也未发现问题。（5）+300V整流滤波电路故障，常见是滤波电容4～5μF/400V电容失容或者开路，本机编号为C2（4μF/400V）。经再次测量，电容已完全失容。当滤波电容失容或开路后，极易造成加至IGBT管c极的脉冲电压过高，从而使IGBT管过压击穿。于是将C2、整流全桥、IGBT管、保险管更换后试机，电磁炉恢复正常。

实践证明，该滤波电容极易失容或开路，从而导致IGBT管损坏或过压保护电路动作。笔者已遇到过多起这种故障，望维修时重点检查。

顺便提及：导致IGBT管损坏原因除上述5点外，还有：(1) 低压15V、18V整流滤波电路故障，使15V或18V电压丢失或过低，将导致前置驱动、同步电路、风扇散热电路均无法工作，最终使IGBT管损坏。(2) 单片机电路故障使单片机MCU不能根据送来的保护信息对机器实行保护而导致IGBT管损坏。(3) 过热、过流检测电路故障，当这部分电路发生故障后，当IGBT管过热或过流时不能将该信息送入单片机，从而导致IGBT管损坏。(4) 散热系统不良，比如风扇转速过慢、风口堵塞等，将会导致整流全桥和IGBT管过热损坏。(5) 锅具底部凸凹不平将会使温度传感器检温失常，从而导致IGBT管因失去过热保护而损坏。



九阳JYC-18X电磁炉局部电路

电磁炉加热伴有"叽吱"声的检修

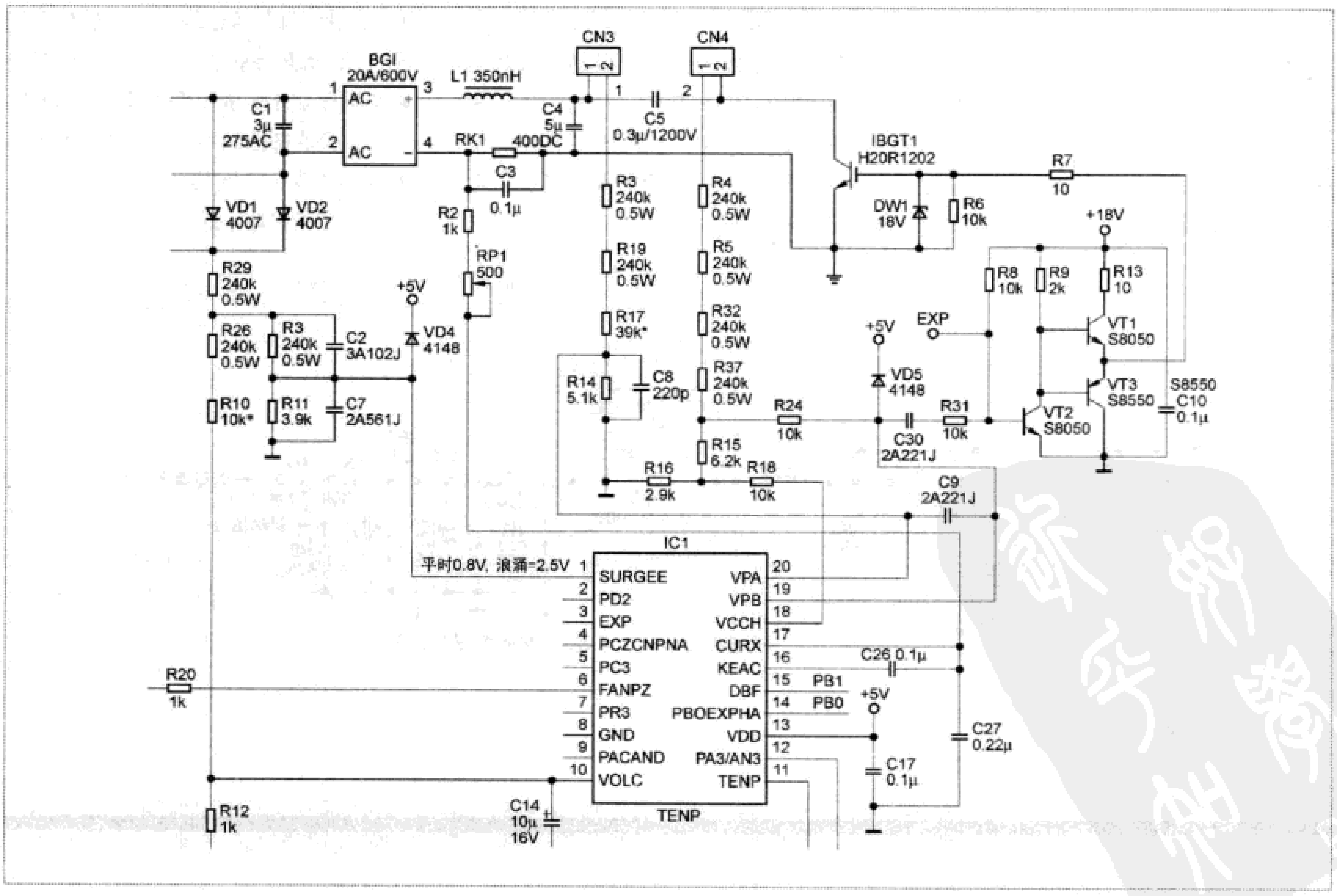
◎李少怡

一台美的C21-ST2101型电磁炉，通电放锅具后，在加热中伴有"叽吱"的响声，但加热功能一切正常。

美的C21-ST2101型电磁炉主电路板TM-S1-01A-A，是美的电磁炉制造公司2009年研发的标准板，电路原理如附图所示。该电磁炉能加热说明主电路基本正常，故检修检测范围定为高低压供电电路、电网电压检测电路、浪涌保护电路、高压检测电路及同步电压比较电路。

检修时，把电磁炉前后壳打开，将加热线圈盘固定螺丝卸开，发现右边的固定脚立柱有裂痕。取下显示灯板及排风电扇插排线，并让电磁炉处于待机状态。用500型万能表直流电压500V、50V、10V挡测整机"三"电压，即高低压供电电路对地电压（+305V、+18V、+5V），以上均正常。再测电网电压检测电路的V+，即测单片机IC1的10脚（同相输入端）对地电压，电压为+3V（正常），测浪涌保护电路的V+取样，即IC1的1脚（同相输入端）对地电压，电压为+1.1V（正常），测高压检测电路的V+取样，即IC1的18脚（同相输入端）对地电压，电压为+1V（正常），测同步电压比较电路V−取样，即IC1的19脚（反相输入端）对地电压，电压为+3V（正常），测V+取样，即IC1的20脚（同相输入端）对地电压，电压为+3.2V（正常）。检修陷入困境，为了弄清故障特点，对电路进行了分析，最后断定为主电路中存在自激所致！

用220V/30W电烙铁对主电路板的贴片电容器逐一进行重焊，结果发现同步电压比较电路，即IC1的20脚（同相输入端）对地旁路贴片电容器C8（220pF）已开路。由于该机受到严重撞击，致使加热线圈盘固定立柱及C8断裂，导致电磁炉同步电路产生自激。将受损坏的C8更新后，通电放锅试机加热，故障排除。注意：C8容量不宜过大，否则电磁炉将出现报警不加热。



问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 一台家用电脑几年来工作一直正常，近来发现特别容易自动关机或自动重启，尤其是上网时同时打开多个网页或打开某个网页就立即重启，用GHOST备份或复装系统时也会发生这种现象。采取杀毒、重装IE浏览器和系统等措施后依旧如此，这是什么原因？怎么维修？

（湖南　吕建设等）

A 这种故障比较常见，但大多与软件无关，主要是CPU发热过高所致。由于电脑使用日久后，机内聚集的尘埃等容易造成CPU风扇转速变慢等现象，使CPU散热不良，负荷一大，就会触动过热保护，从而引起自动关机或重启。维修时，可先仔细清除机内的灰尘，然后拆卸CPU风扇，清除其尘埃，特别是转轴处的积尘和污垢，再加几滴轻质润滑油或缝纫机油，最后复装好就可排除故障。如果风扇损坏或不良，应该拆卸修理或调换新件。另外，还要检查CPU与散热器间的接触是否良好，如果不好，应重新安装好，必要时需涂点硅胶。

（王德沅）

Q 有一台海尔微波炉开机后没反应，不加热，检查发现，保险丝被烧断，磁控管灯丝与管壳间电阻很小，呈击穿状态，但是高压二极管和电容都正常。换上新的保险丝管和磁控管，开机不久后保险丝又被烧坏，而且磁控管灯丝引脚与外壳间又被击穿。磁控管价格不菲，不敢贸然再换了，不知究竟该如何排除这种故障？

（河北　杜峻等）

A 通常造成这种故障的主要原因有两种：一是磁控管本身质量不好，所以应到信誉好的商家去选购正牌产品，如果是邮购或网购，因调换不便，故而更要注意这一点。二是微波炉内的云母片或周边区域被烧坏或烧焦，引起打火而导致磁控管烧坏，当然质量好的磁控管大都是管子头部被烧坏，灯丝引脚与外壳间被击穿较少见。所以调换磁控管前，应该仔细检查云母片或周边区域，如果云母片烧坏，应该换新，同时要清除周边区域的油污和毛刺等。

（王德沅）

Q 有一台采用瑞芯RK2606A的MP3播放器，开机正常，但是无法播放音乐，而且屏幕上显示的歌曲名都变成了乱码，看不清是什么内容。曾经重刷固件，补焊FLASH芯片和主芯片各个引脚，结果都不行，有时会好一会儿，但是再次开机又旧病复发，有人讲是病毒引起的，是这样吗？怎么解决？

（上海　林珏斌等）

A 这种故障比较多见，通常由病毒引起的可能性不大，主要是固件造成FLASH存储数据紊乱所造成的。对于大多数播放器，只要在电脑上把MP3格式化一下就可以消除乱码现象和恢复正常的播放功能。如果格式化后不能排除故障，或故障经常复发，可以清空FLASH内的数据，再重刷固件即可彻底解决问题。另外，在拷贝歌曲等文件时要确保电脑和播放器的连接不断开，否则很容易发生这种故障，甚至损坏播放器。

（王德沅）

Q 一台美的微波炉几年来工作一直正常，近来发现微波炉工作时声音特别响，而且时常还有过去没听到过的“咔、咔”声响，好像是机箱背后的风扇发出的，这是什么原因？怎么维修？

（宁夏　鲁文锐）

A 微波炉工作时的声响主要来自三方面，一是散热风扇的转动声，二是高压变压器的振动声，三是机箱的共振声。对此，可先将微波炉摆平放好，如果机壳螺丝松动，应拧紧，这可减少共振声响。高压变压器的异响大都是其铁心或螺丝松动造成的，一般较少见。风扇造成的异响较为常见。风扇作用是给磁控管及变压器等进行通风散热，风扇使用日久容易沾上灰尘、油腻污垢或异物，从而导致转速变慢和发出异响。维修时可拆下风扇，仔细清除污垢，再给轴承加上几滴润滑油即可。

（王德沅）

Q 一款MPIO FL500“铁三角”MP3播放器，最近在一次播放时突然发生死机，原来只要按动一下复位键即可解除死机，但是这次不行了，拆机后仔细检查复位开关和焊点等都是正常的，后来断开电池才解除死机，这是什么原因？怎么维修？

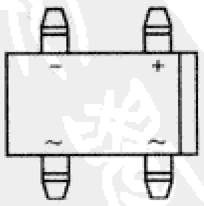
（安徽　王振飞等）

A FL500播放器采用ALI M5661主芯片。M5661的复位端是第26脚，外接100K和1μF的阻容组成复位电路。如果复位开关和相关焊点正常，那么很可能就是复位开关和M5661的26脚间的印制电路断线或引脚脱焊，仔细检查，很快就可找到故障所在。找到断点或脱焊处，只要重新焊好就可，如果断点处不易焊接，可以另外用飞线解决。

（王德沅）

Q 一台广美757型“数码相框”的充电器接通电源后指示灯不亮，不能充电。检查发现一个贴片元件DF08S被烧黑，估计已经损坏，但不知该集成块是什么器件？参数如何？怎样判断好坏？

（江苏　赵映华等）



A DF08S是塑料封装贴片式桥式整流堆，内含4个整流二极管，在各类数码产品的充电电路或独立充电器中的应用较广。DF08S的引脚功能如附图所示。其中：“~、~”表示为两个交流电源输入端，“+”为直流电压正输出端；“-”为直流电压负输出端。主要参数：正向输出电流为1A，反向峰值电压为800V。可用万用表测量来判断其好坏，同测量普通桥式整流堆一样。

（王德沅）

光驱不读碟的解决办法

◎徐勇　宫发

我们都曾经遇到过，把一张有划痕的光盘放在光驱中读了很长时间，最终显示无碟。但那张光碟偏偏又是你没有备份的重要资料，怎么办？本文介绍一下解决的方法。

1. 光盘原因：即使我们总是小心翼翼地使用光碟，也很容易划花它们。当划痕深到一定的程度，你的光碟也就差不多报废了，因为光驱很难读取它里面的内容。即使能读，激光头的损耗也非常大。此时如果我们用油性笔在划痕上涂一下，结果碟机就会读得很顺畅。是什么原因使光盘恢复如初呢？这还要从光盘的结构上说起，光盘是由两部分组成的，第一部分是被称为基盘的底板，它的主要成分是聚碳酸酯，而另一部分，就是光盘的实质内容了，这部分又被从里到外分成三层，记录层、染料层和反射层（见图 1），所有的数据都被保存在记录层上，它是由无数的凹点和平面组成的，光驱是通过激光经过每一个点来读取光盘信息的，激光是通过反射第一个记录层上的凹点与平面从而把它们恢复成文件或程序的，这一层被破坏了是不可修复的。但是相当一部分划痕只是伤到了染料层和反射层，这种划痕是可以修复的，那为什么没有伤到记录层还影响读碟呢？这是因为激光在正常反射记录层上的凹点和平面时先经过染料层和反射层。如果遇到划痕，就会受到影响从而改变反射方向，出现偏差，影响正常读碟，或显示无碟。而油性笔中的油墨属于胶性色素，这些胶性色素与空气接触后被凝固，其材质和密度接近染料层和反射层的材质和密度，这样被填充平整的光盘在读取时就变得顺畅了，从而解决卡碟和不读碟的情况。当然，如果不是单个的划痕，而是连成片的划痕，只要没伤到记录层，只要把这一片都用油性笔涂抹，就可以解决问题了。

在潮湿环境下光碟会有起层和鼓包情况的发生，使得在光驱读碟时，转动发生偏心而不能读取，因此我们在保存光碟时，要避光避潮避高温。

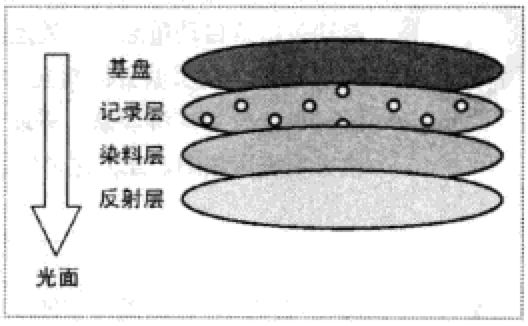


图1

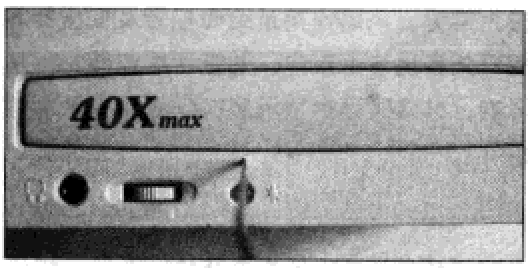


图2

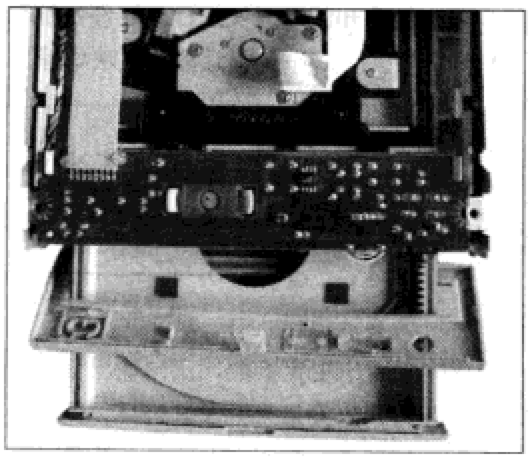


图3

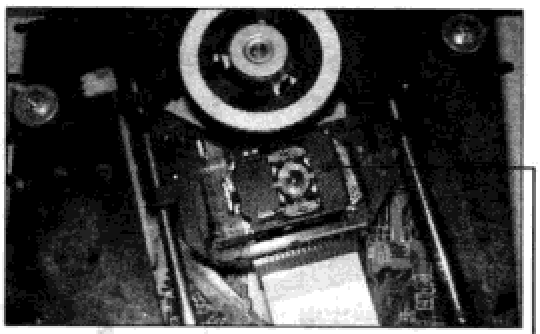


图4

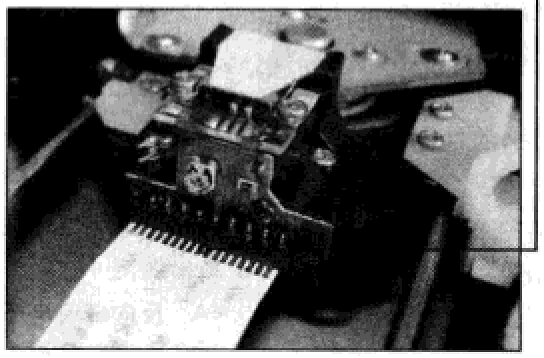


图5

2. 光驱原因：有时一张光盘在其他的光驱中可以读碟，在自己的光驱中却读不出来。在排除了盘损坏的情况外，就要在自己光驱上找原因了，如果所有盘都不读，就要把光驱拆开，看光盘收仓机械装置是否到位，即光驱平放，看收进光盘后是否水平。如果不水平，在转动时发生偏心，当然无法正常读取数据，此时只要把机械装置正常复位即可解决问题。

另外，就有可能是激光头落灰或元器件老化，使得激光头的输出功率不足，而无法正常读碟。下面就这一问题结合具体实例介绍解决方法。

（1）断电后拆下光驱（以 VCD 光驱为例，DVD 光驱同理），找合适粗细的铁丝或锥子垂直伸入圆孔内，试探找到开仓齿轮，压动齿轮弹开仓门（见图 2）。

（2）卸下底板，弹开上面、左面和右面的卡脚，拆开前板，再取下上板（见图 3）此时我们可以看到激光头（见图 4），如果有遮挡物和排线，要小心拆开。

（3）用脱脂棉擦掉激光头上面透镜上的灰尘。

（4）激光头下面的可调电阻（见图 5）可调节激光头输出功率。顺时针转动 10°，把所有线和装备复位，加电读碟试验一下，这样每 10° 试验一次，几次下来就可以找到最佳位置，如果你激进的话，也可以多转一些。

电磁炉IGBT管损坏的初探

◎霍汉明

随着电磁炉的日益普及，维修工作也日益增多。维修中发现IGBT管损坏占了相当比例，同时POWER（FUSE）为12~15A，整流桥块也多见过流损坏。IGBT管的损坏大致有以下几个原因。

+300V整流滤波电路故障

该电路是将市电AC220V整流、滤波成+300V直流电压供给IGBT管C极。电路主要由20A/400V整流全桥，4~5μF/400V无极电容组成。常见故障是滤波电容损坏，导致IGBT管C极的脉冲电压过高，使之击穿。

高压保护电路故障

该电路作用是防止加至IBGT管C极的电压过高（约1500V）。电路一般是以一组电压比较器{LM339}为核心，电压比较器的反相输入端经功率电阻(2W）和五环精密电阻与IGBT管C极相连，当加至C极电压过高时，比较器将驱动IGBT管的脉冲信号关闭。该电路常见故障是五环精密电阻开路或脱焊。

同步电路（SYNC）故障

同步电路的功能是保证加至IGBT管G极开关脉冲前沿与加至IGBT管C、E极脉冲后沿同步，以确保IGBT管在C极电压最低时导通，防止过流烧毁IGBT。该电路主要由一组电压比较器(LM339）和接在发热盘（线圈）两端的大功率电阻（240~330kΩ/2W），五环精密检测电阻组成。当电路发生故障时，IGBT管易过热烧毁。常见故障是大功率电阻检测电阻开路或变值。

前置驱动电路故障

该电路作用是将驱动IGBT管的脉冲信号放大，保证IGBT管工作在开关状态。电路通常由S8050,S8550组成互补推挽电路。该电路发生故障，会造成IGBT管欠激励或过激励。常见故障15V/18V供电丢失或推挽管之一损坏。

单片机电路故障

单片机是电磁炉的控制中心，其作用是对整个电磁炉的工作状况、各单元电路送来的信息进行检测，以保证电磁炉工作。该电路发生故障后可使IGBT管损坏。

LC谐振电路故障

LC谐振电路作用是通过LC并联谐振，将电容器储存的电场能转化为磁场能，再由锅底转化成热能。电路由发热盘、谐振电容（0.27μF/1200V或0.3μF /1200V）,IGBT管等组成。常见故障为谐振电容失容或击穿。

低压+15V/18V整流滤波电路故障

该电路是为同步电路、前置电路、风扇（FANS）散热电路提供工作电源（神州牌的低压为+15V，而美的等品牌为+18V），一旦低压丢失或异常，会导致电路无法正常工作，使IGBT管损坏。常见整流二极管（2A）、滤波电容（470μF/25V、220μF/25V）失效。

温度/电流检测及散热系统电路故障

温度检测电路是对电磁炉炉面温度及IGBT管工作温度进行实时检测，防止过热损坏。检测元件系负温度系数热敏电阻，其检测信息直接送入（MCU）相关温度检测引脚，一旦过热，MCU发出保护指令，使其电磁炉停止工作。电流检测是一个电流互感器，互感器初级线圈串联在电磁炉市电入线回路中，次级线圈接入取样检测电路，并与MCU过流保护端子相连。当过流时，检测电路将其控制在与IGBT管允许范围内，关闭驱动脉冲，避免IGBT管损坏。常见故障是检测电阻开路、变值或二极管击穿。散热系统为风扇，散热器等对IGBT管、整流器散热，若风扇转速变慢或停转，风道堵塞等，均会造成IGBT管损坏。

锅具凸凹不平故障

锅具凸凹不平使产生的涡流不均匀，使锅底温度传感器工作失常、MCU不能检测到过高的温度，从而导致电磁炉继续加热，以致IGBT管损坏。

IGBT管的更换

IGBT管损坏后不要立即更换，建议对上述原因检查，找到损坏元件，然后更换IGBT管，这样才能达到事半功倍。

自己动手检修抽油烟机

◎王绍华

油烟机目前已是都市厨房的必备设备了，油烟机使用频繁，当出现一些问题时如能自己动手进行处理是非常方便的。本文以灵达YPZ5-4D型监控式自动/手动抽油烟机为例介绍其基本工作原理及常见故障的检修。电路工作原理如图1所示，这主要包括面板控制开关，抽油烟电机M1、M2，照明灯及监控器方框图等。监控器电路如图2所示，它由电源、气体监测及控制、报警等电路组成。其中有害气体探头MQ和IC1（四运放LM324之一）构成油烟（有害气体）检测电路，IC2（四运放LM324之二）接成电压比较器去控制它输出端的讯响器。IC3（LM324之三）及它周围元件构成防误动作电路。IC4（LM324之四）及它周围元件构成排油烟延时控制电路。IC5和它周边元件构成稳压电源电路，为监控器提供12V工作电源。

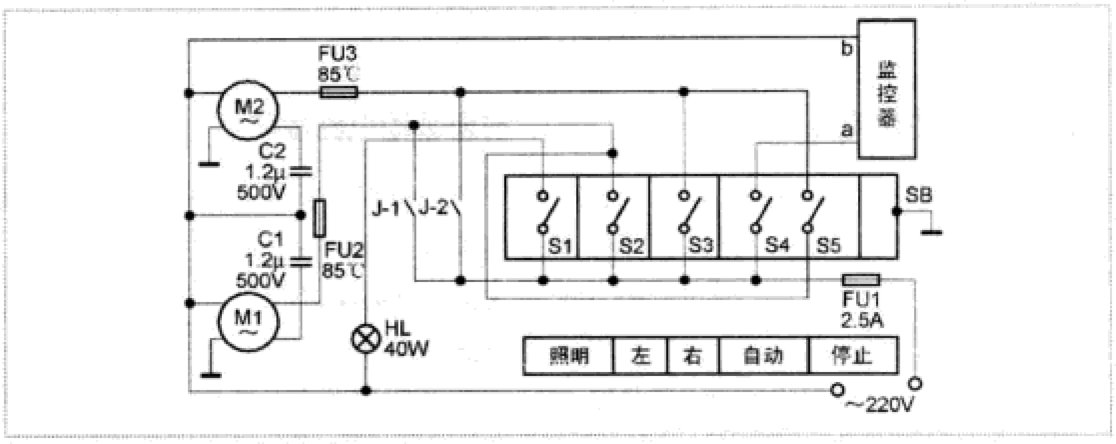


图1 灵达YPZ5-4D型油烟机工作原理图

工作原理

由图1可知，接通220V市电后，若按下面板琴键开关SB的S1（照明）后，照明灯HL将点亮，以方便做菜。若按下左风扇开关S2或右风扇开关S3时，被控制的对应电机M1或M2将启动运转，对外抽排油烟。若同时按下S2、S3，则M1、M2同时运转。若您选择自动控制抽排油烟的话，可按下开关S4，此时监控器通电工作，IC3同相输入端3脚立即为高电平，而反相输入端2脚接有大容量电容C1，需经大阻值电阻R3对它充电，电位才能逐渐升高，因此开机时IC3的3脚电位高于2脚电位，则输出端1脚输出高电平，即IC1反相输入端9脚也为高电平。而IC1正相输入端10脚为低电平，故输出端8脚输出低电平→IC4同相输入端5脚也为低电平，低于反相输入端6脚电平→输出端7脚输出低电平→控制管VT截止→继电器J不能通电，常开触点J-1、J-2均不能闭合→M1、M2不工作。所以，IC3及它周围元件构成了防误动作电路。由于IC1的8脚为低电平，故绿色发光二极管VD3点亮。此时有害气体探头MQ的1、2端通电预热，开始进入自动监控状态。当厨房内油烟或其他有害气体浓度达到额定值时，MQ的3、4脚内阻减小，IC1的10脚升至高电平且高于9脚电平，故8脚输出高电平→待机绿色指示灯VD3熄灭，报警红色指示灯VD4点亮→IC2同相输入端12脚电平高于反相输入端13脚电平→输出端14脚输出高电平→触发讯响器发出间歇蜂鸣声。与此同时，IC1的8脚输出的高电平还经VD5送至IC4同相输入端5脚，使5脚电平高于反相输入端6脚电平，于是输出端7脚输出高电平→VT（NPN三极管）因b极高电平而饱和导通→继电器J工作线圈得电→常开触头J-1、J-2同时闭合→M1、M2运转向外抽排油烟或有害气体。当厨房内油烟或有害气体浓度下降至额定值以下时，MQ的3、4脚之间内阻增大→IC1的10脚电平低于9脚电平→输出端8脚输出低电平→VD3重新点亮，VD4熄灭，IC2的12脚电平低于13脚电平→输出端14脚输出低电平→讯响器停止发声。由于C3正端充有约11V的高电平，要经RT、R8、VD4对地放电，IC4的5脚电平要延时约3min才能低于6脚电平。此时输出端7脚才输出低电平→VT截止→继电器J失电，常开触点J-1、J-2同时复位断开→M1、M2同时停止运转。故在红灯熄灭，绿灯点亮，讯响器停止

附表 LM324正常工作电压

引脚号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
监控状态（V）	0.8	10	8.8	12	0.6	8.8	0	1.1	4	0	0	1.1	8.8	0
报警状态（V）	0.7	10	4	12	10	4	12	11	4	12	0	11	4	12

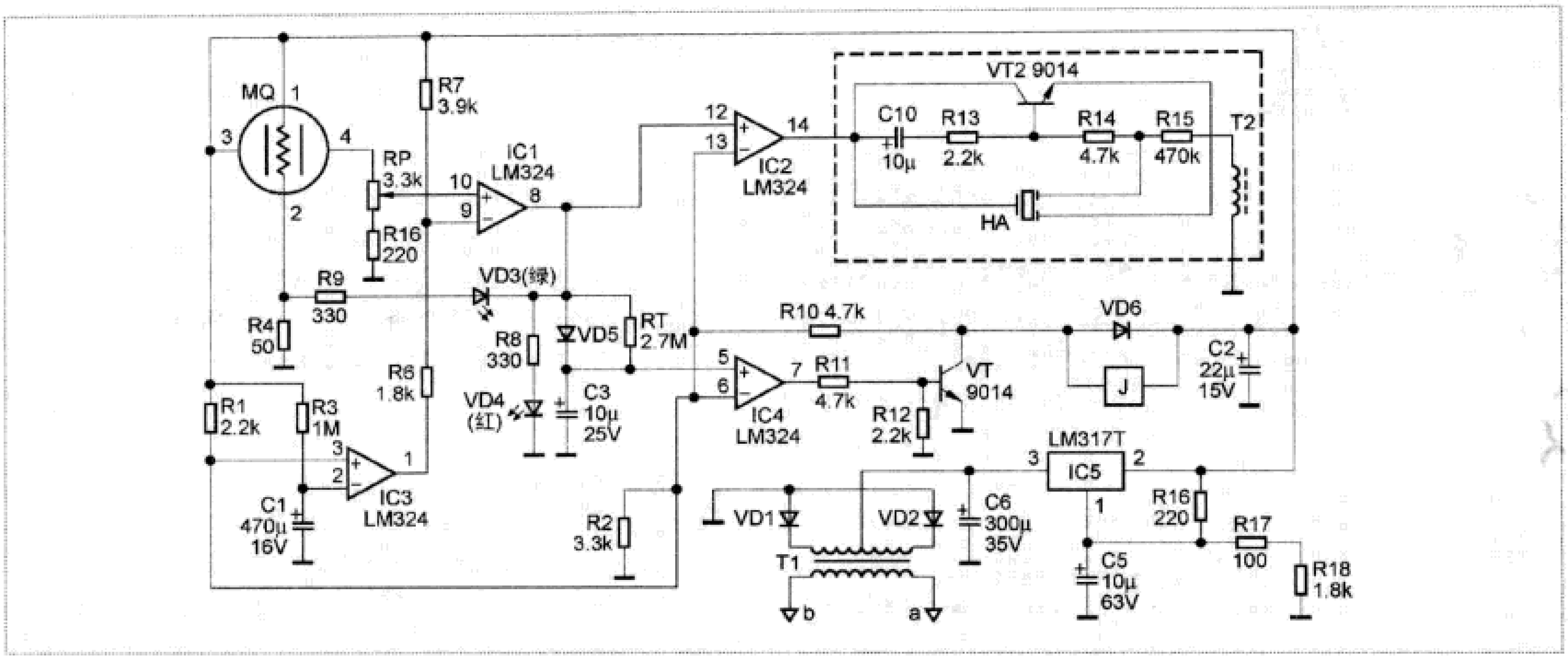


图2 监控器电路图

发声后约3min电机才能停止运转（RT为延时调整电阻），重新恢复监控状态。

图1所示的电路中设置的FU1为保险管，对整机发生短路性故障起保护作用。FU2、FU3均为超温保险管，当电机M1和M2温度超过85℃或发生短路故障时可自动熔断。

故障检修

根据维修经验，抽油烟机常见故障有如下几种。

1. 按下“自动”键，监控器绿色指示灯点亮，但报警和抽排系统不工作。

这表明监测或控制电路有故障。为方便读者检修，给出LM324在监控和报警状态下各脚正常电压值（见附表）。可在路检测IC1各引脚电压，若正常，再在气敏元件下方1CM处释放打火机丁烷气体，同时用表监测气体探头MQ的4脚电压，正常应从1.2V迅速升至11V左右，否则说明MQ不良或进气隔离纱罩孔被油污封死，可拆下用酒精清洗干净再试。若4脚电压升至正常，接下来测灵敏度调整电阻RP活动端（即IC1的10脚）电压，应为高电平。若为低电平，可基本确认是RP活动触头开路。如果开始测得IC1各脚电压不正常，在确认IC1外围元件正常的前提下，可更换LM324。

2. 按下“自动”键后，室内即使无油烟或可燃气体，自动抽排系统也工作，但讯响器不响。

该故障原因是IC4或它后面的继电器驱动电路或继电器本身故障。首先测LM324的5、6、7脚电压是否正常，若正常，再测晶体管VT（9014）各极电压，看是否已饱和导通。若没有饱和导通（VT基极为低电平）且C极为高电平，说明继电器J-1、J-2触点已粘连。若首先测得LM324的5、6、7脚电压不正常，在检测IC4外围元件无异常情况下，可更换LM324。

3. 室内有较浓油烟，红色报警指示灯已点亮，蜂鸣器已报警，但电机不能运转。

该故障说明IC1～IC3工作正常，故障发生在IC4或继电器驱动电路或继电器本身，也有可能是电机超温保险管熔断。可先查手动抽排是否正常。若正常，重新按下“自动”键，在报警情况下测IC4的5、6、7脚电压，看是否正常。若正常，再检查VT各极电压或VT本身是否正常。若也正常，再检查继电器是否动作。若没有动作，应查供电和工作线圈是否正常。若继电器动触头已经吸下，则说明继电器常开触点已氧化或烧蚀而不能通电，需进一步检查修复或更换。

微波炉内打火的修理经验

◎王玉龙

一台格力WD-700TL17-3型微波炉在关闭炉门开始加热时，突然出现打火燃烧现象。迅速关机，经检查，发现磁控管微波发射头（俗称无线）已被打火燃烧时的烟熏黑。再观察加热室的微波进口（俗称波导口）的云母片已被烧黑。取下云母片（该机云母片竖直插入式），发现云母片上布满油烟。经用无机酒精将云母片和磁控管微波发射头仔细清洗，烘干后试机，微波炉恢复正常。原来在饭菜加热时，特别油腻荤菜蒸发的油分子容易沾落到云母片上，使云母片丧失绝缘功能，在微波通过时出现打火燃烧冒烟。燃烧时的烟雾又使磁控管发射头绝缘降低，从而又导致发射头对地打火。因此遇到此类故障可卸下云母片，连同磁控管发射头均用无水酒精清洗，再用电吹风烘干，然后复原。故障即可手到病除。前几天笔者又碰到一台康宝WN800-22型微波炉也出现同样故障，经用上述方法处理后（该机云母片四角是用4只耐热塑料卡子固定的）即恢复正常，看来这是微波炉的一个通病。

Q&A 问与答

Q&A 提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 一台德生S2000收音机开机后无声，经查发现静态电源电流达200mA以上、功放集成块TDA2822M严重发热。仔细检查电源滤波电容和印制板电源部分，都没发现短路、漏电等现象，清洗印制板也没用。曾经想换集成块试试，但怕因外围元器件不良而烧坏新换的IC。不知TDA2822M的正常静态电流为多少？怎么排除故障？

（上海　鲁时代等）

A TDA2822M是一种低电压双音频功放IC。其使用电源电压范围为1.8~12V。在V_{CC}为6V时，典型静态电源电流9mA，输出功率450mW（R_L=4Ω，THD=10%）。所述故障机的静态电流高达200mA，显然是电源负载存在严重漏电所致。由于TDA2822M发热严重，如没有改过线路，仅从这点就可判断集成块已经损坏，只要调换TDA2822M就可排除故障。对于这种小功率低电压的功放集成块，一般外围元器件的问题不会导致烧坏新IC，除非经过了不当维修，或受到高压或高温等冲击。（王德沅）

Q 一款主芯片采用ATJ2091N 的MP3播放器开机后无显示也无声音。拆机检查，发现5脚稳压集成电路ZX3402没有1.5V和3V输出电压，但是充电电池和ZX3402的1脚输入电压都正常，判断ZX3402损坏，但用同型号IC代换无效，仍没输出电压，这是什么原因？如何排除故障？

（山西　李理维）

A 造成这种故障的主要原因及处理方法是：（1）新换的ZX3402是坏的。这种情况虽然在维修实践中常会遇到，但是有些维修人员却往往会漏过这点，从而使维修陷入困境。所以选购时一定要注意商家信誉，尽量购买正牌产品。（2）焊接不良，导致集成块等元器件虚焊或搭焊，可仔细检查集成块和周边元器件的焊点状况，发现不良的焊点重新补焊好即可。（王德沅）

Q 一部三星SGH-S308手机，最近屏幕突然不亮了，以前偶尔也会出现这种现象，但只要重复合盖、翻盖几次就会亮了，现在却无论怎么翻盖、合盖都没用了。曾经送修，说是显示屏坏了，调换需要200元，能否自行维修这种故障？（云南　沈建伟等）

A 这种故障大都是印制板和显示屏之间的（柔性）连接排线断路或接触不良所致，显示屏损坏的可能不大，一般具有电子维修基础的爱好者都可自行修复。拆机后先用万用表仔细检查显示屏排线的通断状况，如果是一两条线路断路，可以用耐折的柔性细电线（如耳机细软线等）以飞线形式连接好。倘若排线损坏严重，修复困难，则可调换，也可用报废的同类手机排线换上。（王德沅）

Q 一台可欧M-800高清MP4播放器，因用户使用不当，错误插入别的充电器而导致电源集成块AXP189被烧坏，但无法购到这种集成块，上网搜索也查不到它是哪个公司的产品，不知能否提供AXP189的相关信息？以便我们寻找配件或代换件，修复该机。

（浙江　林贵齐等）

A 可欧M-800高清MP4播放器采用CHIPRISE（芯舞）HD986主芯片，支持1360×768分辨率，20Mbit/s平均“码率”的多种视频格式。该机应用的AXP189是一种新型PMU（power management unit，电源管理单元）IC，内含9个不同的电源芯片，具有整机电源管理能力，功耗较低，效率较高，而且采用电量计量方式，使电池电量显示更准确。AXP189是深圳芯智能科技有限公司的产品。

（王德沅）

Q 一台蚬华22L容量的微波炉加热功能正常，但是炉内玻璃转盘不转，经检查发现型号为SS5-240-DT 4W的转盘电机损坏，虽然实测电机绕组电阻为8kΩ左右，但加电后就是不转，请问能否自行修复？另外，能否用18L微波炉的转盘电机直接代换？（安徽　余刘博）

A 炉内转盘不转，会使食物加热不匀或带来其他弊病，所以应及时解决。转盘电机通常由永磁同步电机和减速齿轮组构成，转速为5~8转/分，功率为3~5W，电机绕组电阻大都在6~20kΩ 范围内，因此实测 8kΩ 左右是正常的，电机不转通常是齿轮或转子、转轴有问题。齿轮或转子等损坏的电机一般较难修复，因此建议换新件，当然也可用 18L 微波炉的转盘电机替换，还可用特性类似的转页扇同步电机代换，只要注意安装牢固，并且能带动转盘正常转动就行。

（王德沅）

Q 一台格兰仕WD750型微电脑控制烧烤微波炉，有时工作完全正常，有时则不能加热，但是开机后可看到炉内的转盘在运转。故障发生是随机的，有时多开关机几次后就能恢复加热。拆机后经过反复检查未能找到故障原因，不知故障究竟在何处？（河北　张祥）

A 这种故障一般是微波炉元器件存在接触不良所造成的。由于是不加热故障，其他基本正常，所以维修时重点是检查高压电路元器件的接触状况，维修实践表明，通常以磁控管灯丝接插件松动或氧化、高压保险丝接触不良以及火力控制继电器接触不良最为多见，只要一一检查，很快就能找到故障所在。（王德沅）

再谈电磁炉IGBT管击穿检修方法

◎霍汉明

IGBT管是由BJT（双极性三极管）和MOS（绝缘栅型场效应管）组成的复合全控型电压驱动式电子器件，兼有MOSFET的高输入阻抗和BJT的低导通压降两方面的优点。BJT饱和压降低，载流密度大，因而被广泛应用于电磁炉电路中。在检修中发现，IGBT管损坏的比例比较高，为此，本文以半球19B型电磁炉为例，谈谈IGBT管击穿的检修方法。掌握维修方法，可以提高维修思路，减少损失，事半功倍。

检修方法

IGBT管击穿常见原因如附表所示，除了表中所列的损坏原因，也不排除自身质量问题。

故障部位	故障原因
电网电压供电电路	电磁炉电源插头接触不良
整机高、低供电电压	1.高压供电滤波电容失容或虚焊；2.低压偏低
MCU电路	MCU损坏
高压保护电路	1.比较器U1/LM339坏，2.高压保护原件变值，开路
LC振荡电路｛OSC｝	1.谐振电容C8漏电或开路；2.限幅稳压二极管D14反相漏电；3.加热盘L2坏，IGBT散热不良
驱动放大电路	1.IGBT管失常，2.U2/TA8316S坏，3.U1/LM339坏
浪涌保护电路	1.浪涌保护电路取样电阻变值，开路损坏，2.比较器LM339坏，3.隔离二极管开路损坏
同步电路{SYNC}	1.比较器U1/LM339坏，2.阻容元件变值
PCB板/锅具	PCB板故障/锅具不平整等

1 接通电源，不按MEUN键时，IGBT1（IMBH25—120）管的G极电压应小于0.5V脉冲电压（典型值为0V）。按MEUN键时，电压应为1~2.5V（本文数据用UNI—T /UT33D万用表测量）。拆下加热盘L2，在其两端加100W/220V灯泡作为负载，此时，灯泡应微亮，表明负载电路无短路故障，若灯泡较亮，则说明负载电路有短路故障存在，需要做进一步检修。

2 测量+300V高压及C20、C17、C18两端电压，C20、C17、C18两端电压分别为+5Ｖ、+12Ｖ、+18Ｖ，如上述电压都正常，证明整机的供电电路正常，可继续检查MCU电路、高压保护电路、LC振荡电路、驱动放大电路、浪涌保护电路、同步电路等。

3 在正常时不接加热盘L2、不按MENU键， IGBT1的G极电压为0~0.3V。更换IGBT1时同时最好也将U2/TA8316S一起更换，因IGBT1击穿时，U2/TA8316S的1脚、2脚，1脚、4脚，2脚、7脚，或4脚、7脚之间电路极易击穿，这点检修时一定要注意。更换U2/TA8316S后，不接加热盘L2，测U2/TA8316S的7脚是否有小于0.3V左右脉冲电压，若电压大于0.5V，说明仍有故障，应检查同步电路（sync）、LC谐振（osc）电路、比较器U1/LM339等相关电路，等故障排除后，方可接加热盘L2试机运行。

4 判断比较器U1/LM339是否损坏，可采取在同相或反相输入端接+5V或GND，测输出端电压是否正常，正常时，同相输入端高于反相输入端，输出高电平，反之为低电平。以上检测正常后，可将MCU（U3）的使能端（IGBT enable）与+5V相连，测IGBT1的G极驱动电压是否为5~11V（视具体型号而定），若正常，可恢复MCU（U3）的使能端（IGBT enable）。接上加热盘L2试机，检修结束。Ⓦ

设计印制电路板中的小技巧

◎李保平

在检修电子仪器过程中，我发现不同的元器件所对应的印制电路板采用不同的设计思路和方法，这些设计思路和方法对于我们这些喜欢动手设计电路、动手制作的爱好者是很有启发的。现总结如下，与大家一同分享。

过孔设计要灵活应用

对于高电压、大电流、大功率、发热量大的元器件，在设计印制板时，元器件的布局应尽可能松散一些，元器件焊盘的尺寸及各焊脚的焊盘间距也可设计得大一些。如果电路元器件数量及印制板尺寸允许的话，还可根据需要，在这些元器件焊盘及印制板铜箔之间的空白处，设计一些过孔，即去除多余的印制板基板，留出一定的空隙。这样做既有助于元器件之间的相互散热，同时又有利于提高元器件与印制板铜箔之间的绝缘性能，可防止印制板电路铜箔间及印制板焊盘间漏电、拉毛放电、击穿短路等。开孔的大小、形状可根据需要而定，开孔的位置可选在诸如电源输入插座的焊脚之间、整流桥堆焊脚之间、光耦输入/输出焊脚之间、大功率三极管焊脚之间、显像管尾板管座焊脚之间、部分印制板铜箔之间及其他需要的地方等。如图1（a）、图1（b）、图1（c）、图1（d）所示。

铜箔走线要圆滑流畅

在设计印制板铜箔走线时，印制板铜箔的形状应尽量避免尖角、毛刺，铜箔的首尾及拐角等处应尽可能设计成圆弧状、倒棱方角，铜箔边缘应设计得整齐平滑、线条流畅。这是因为尖角、毛刺如遇灰尘、潮湿等常常会形成打火放电，造成漏电、击穿短路等故障。另外，在射频（RF）电路设计中，印制板铜箔走线尽量使用45°的线，不要使用90°的折线，以减小高频信号的发射。如图2（a）、图2（b）所示。

过孔

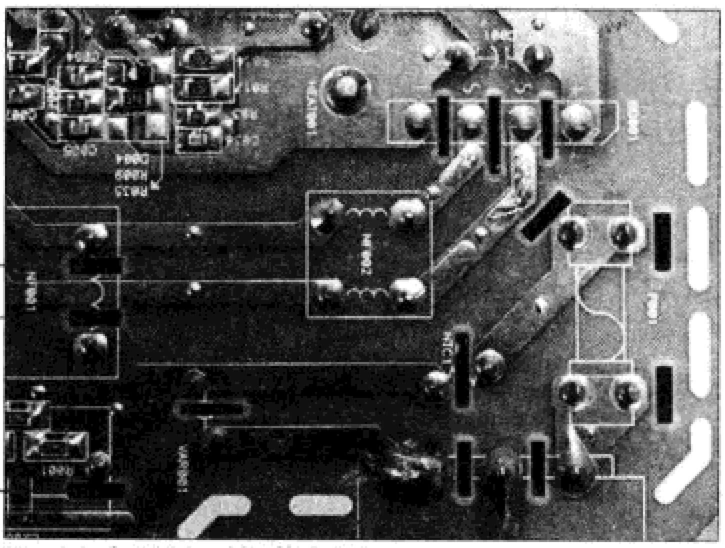
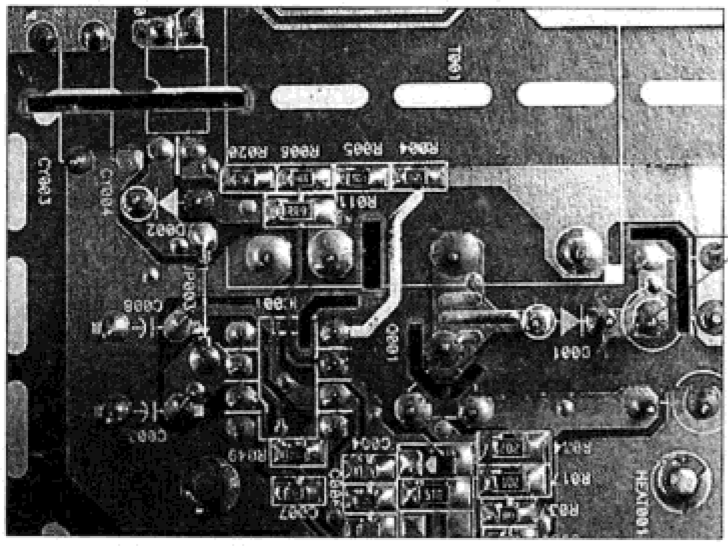


图1（a）电源插座、桥堆等处过孔



过孔

图1（c）光耦、电容等处过孔

过孔

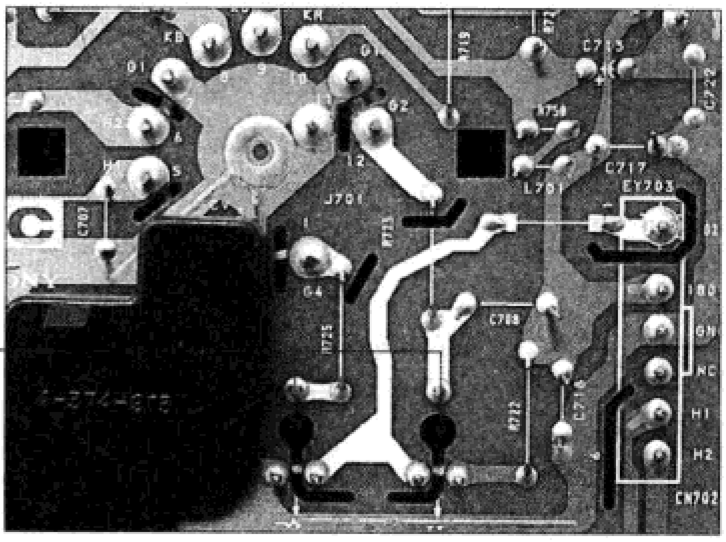
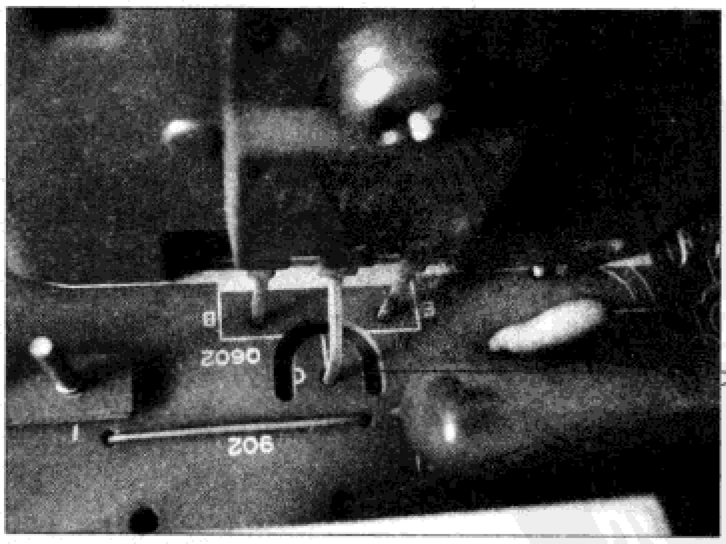


图1（b）显像管座等处过孔



过孔

图1（d）三极管处过孔

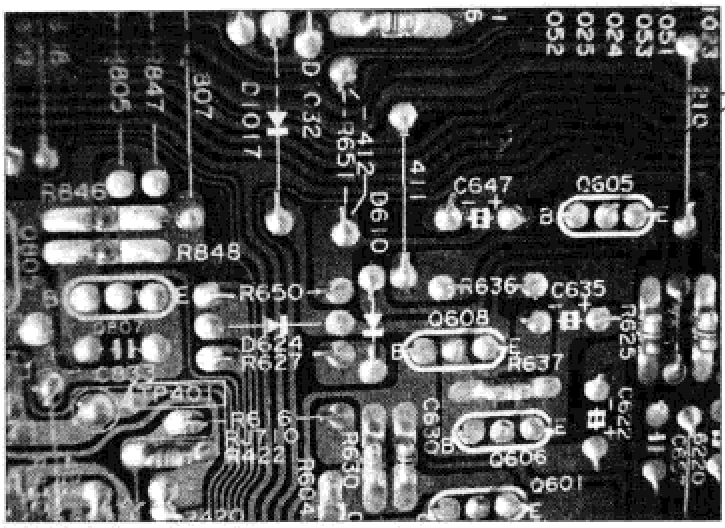


图2（a）圆弧状走线

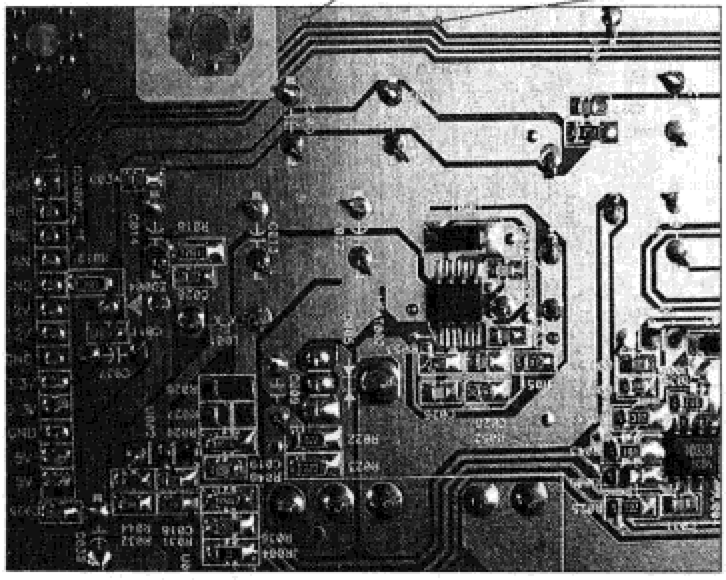


图2（b）倒棱方角走线

接地线和电源线要粗壮结实

印制板铜箔地线、电源线等关键的铜箔线在条件允许的情况下应尽量设计得粗壮结实一些。其主要原因有两个：一是加粗地线有利于减小地线阻抗，提高抗干扰能力，另外印制板地线常常与接地散热器、金属屏蔽板等大件相接，也需要大型焊盘来牢靠固定；二是加粗电源线，有利于提高电源效率。这里要特别提示，在某些地方的铜箔表面再加镀一层薄锡，这样可进一步减小电路内阻，增强抗电流冲击能力，并能增加印制板及铜箔电路的强度，在一定程度上，铜箔表面上的薄锡还可起到增大散热面积，充当散热器的作用。另外，在印制板的空旷区域合理地填充铜皮，增加网格状、条形状的地线并加镀薄锡，还会起到屏蔽干扰的作用。如图3（a）、图3（b）所示。

IC插座要慎重使用

在设计印制板时，集成电路插座（IC插座）应慎用或不用。IC插座通常用于电路设计、调试。实验初期，在成品电路中，应尽量避免使用IC插座（除非某些特殊要求的专用电路板，如电脑主板等），IC可以直接焊在印制板上。因为使用IC插座具有一定的局限性，诚然，在印制板上使用IC插座，则IC的安装拆卸更换会比较方便，但在方便的同时又带来一定的弊病，一方面IC引脚与IC插座容易产生接触不良，降低了电路的可靠性，同时IC插座还会带来较大的分布电容，引起不必要的干扰，尤其是在射频（RF）电路设计中，应尽可能不使用IC插座，如图4（a）、图4（b）所示。

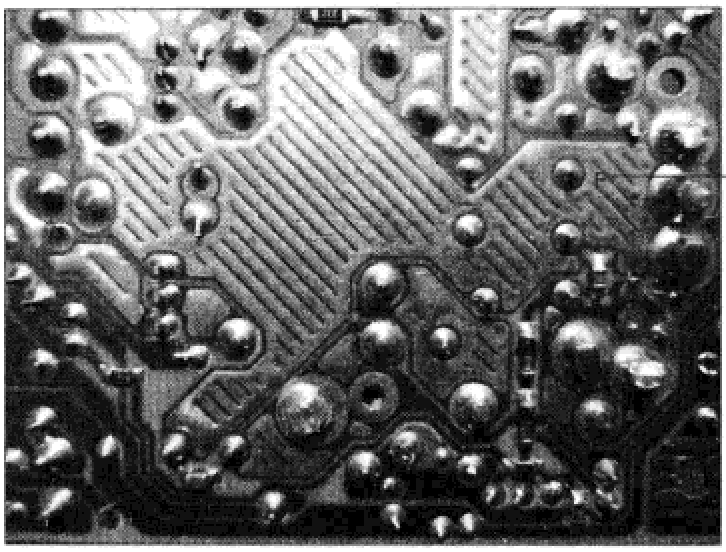


图3（b）镀锡条形块状地线

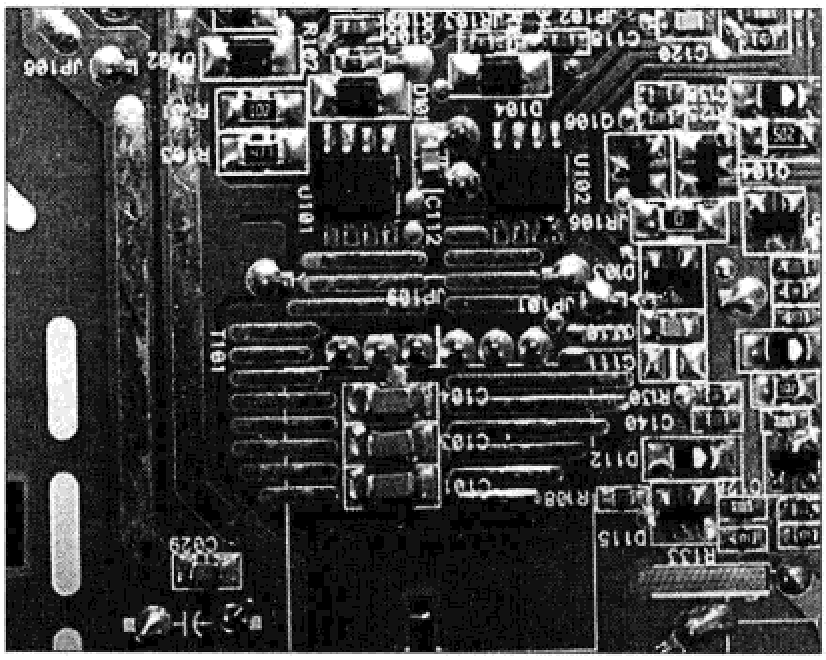


图3（a）镀锡加粗电源线、地线

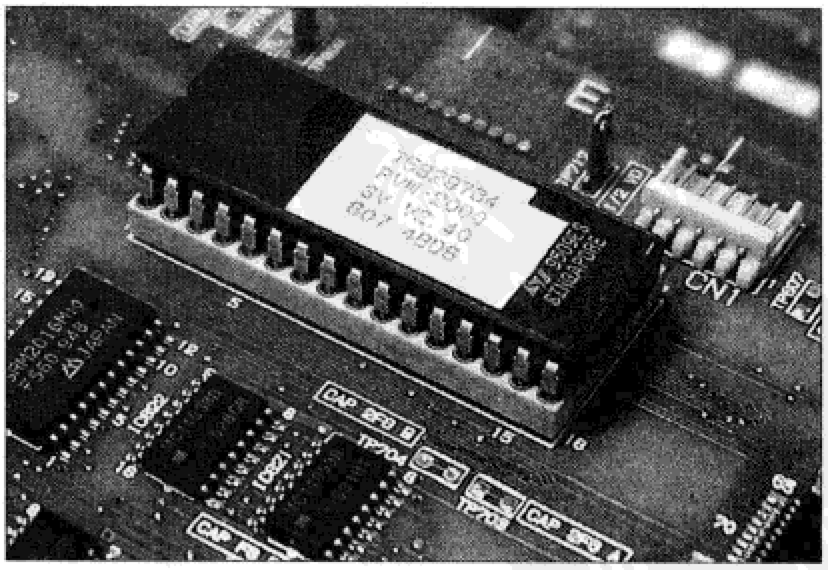


图4（a）IC直接插在IC插座上

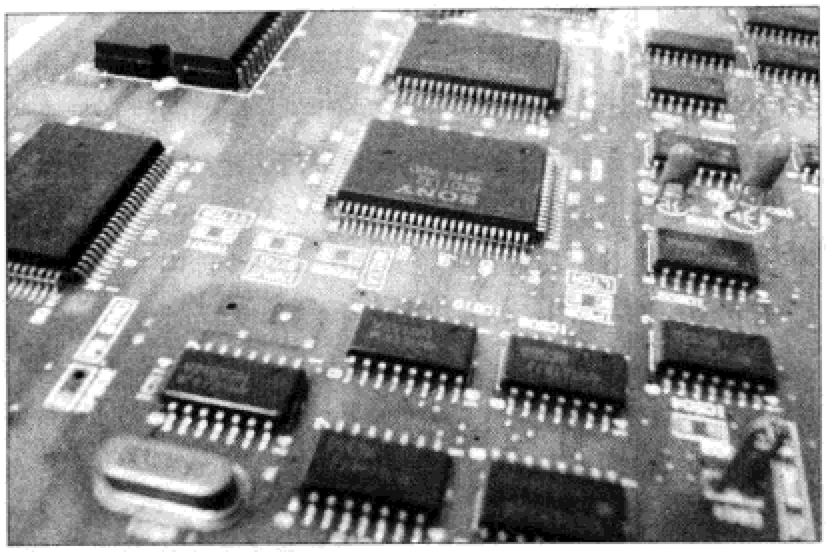


图4（b）IC直接焊在印制板上

印制板电路要分区设计

在设计印制板电路时，各部分电路可按其功能作用采取分区、分块设计，在不影响电路性能的前提下，根据电路原理按照电路结构尽可能将各部分电路按功能划分区域，合理布局，使得各部分电路元器件相对集中靠拢，这样既有利于减少相互干扰，同时又使各部分电路分布排列显得整齐有序，也方便了日后的故障检查、维护及排除，如图5（a）、图5（b）所示。

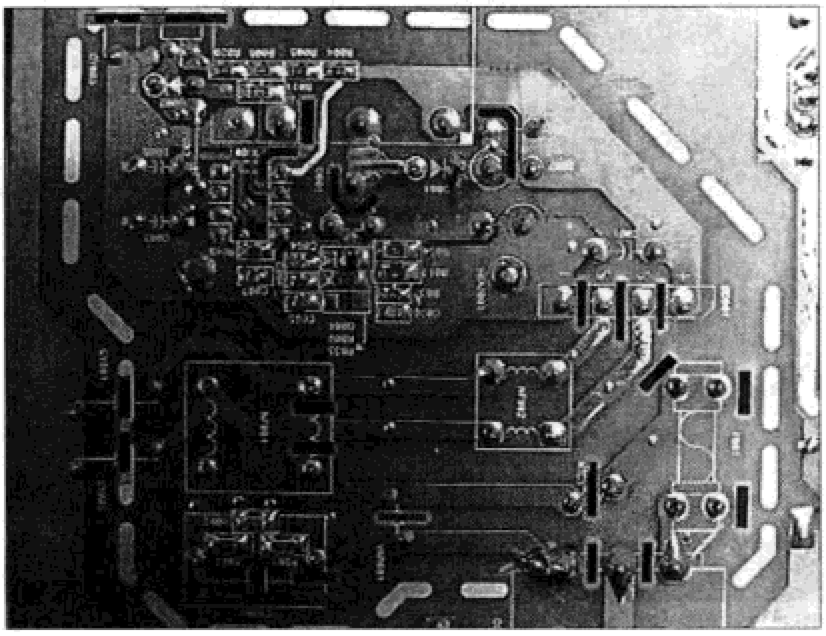


图5（a）电路分块设计

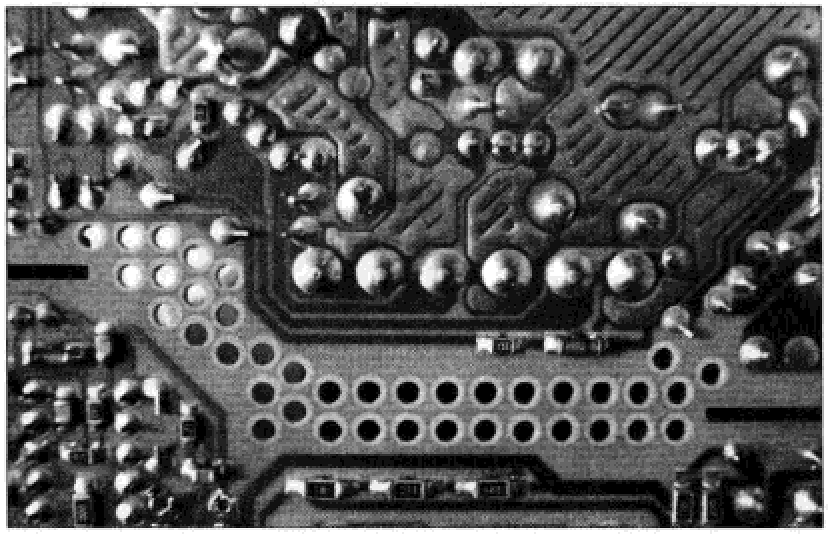


图5（b）电路分区设计

元器件的抗震/减震是关键

在设计印制板时，元器件的安装方法至关重要，元器件安装的抗震、减震性能尤为关键。大型元器件、电路模块组件、大功率散热器等的安装除应考虑它们的布局、散热条件、有无干扰等因素外，更要充分照顾到抗震动、耐冲击能力。在设计时，可根据元器件安装结构特点增加牢固度，必要时可另行设计紧固件，合理可靠地固定装配，这样才能有效地增强抗震性能，提高电路的可靠性、稳定性。如电源开关、大功率电阻、大型散热器、行输出变压器等采用铆钉焊技术，电脑电源直流输出引线多采用专用焊头焊接。行输出变压器安装后再与主板固定。彩电的输入输出端子板常采取与主板、机壳固定等。另外，对一些关键元器件、怕震动的零部件，在装配时还可采用专用绝缘胶将其外壳与印制板粘接，使之成为一体，如电容器、导线插座等。对于一些抗震性能要求较高的元器件，如射频（RF）电路的晶体振荡器、可使用橡胶或泡沫软支架架空安装或采取在元器件与印制板之间增加阻尼垫等措施安装，以起到释放震动缓冲能量、增强散热的作用，从而进一步减小震动等带来的不良后果。如图6（a）、图6（b）、图6（c）、图6（d）、图6（e）、图6（f）所示。

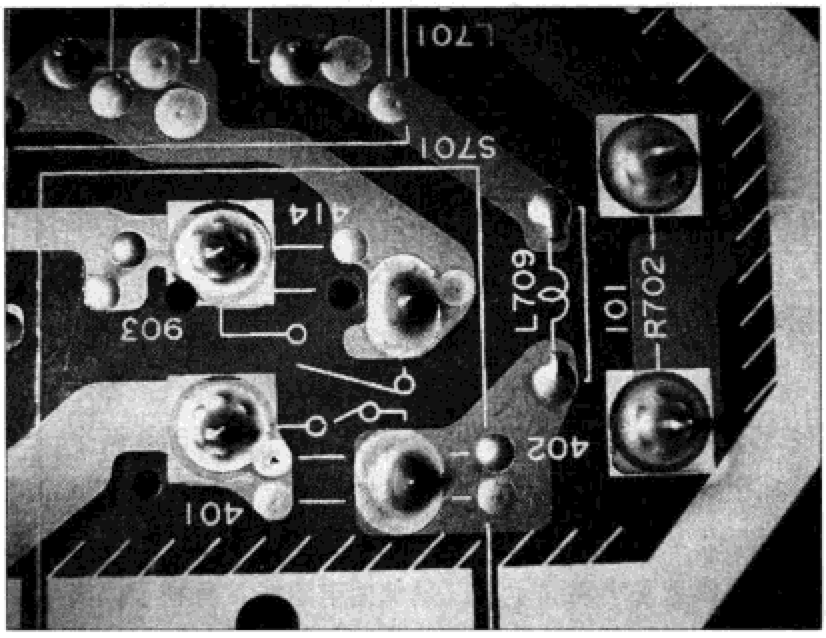


图6（a）电源开关、大功率电阻的铆钉焊

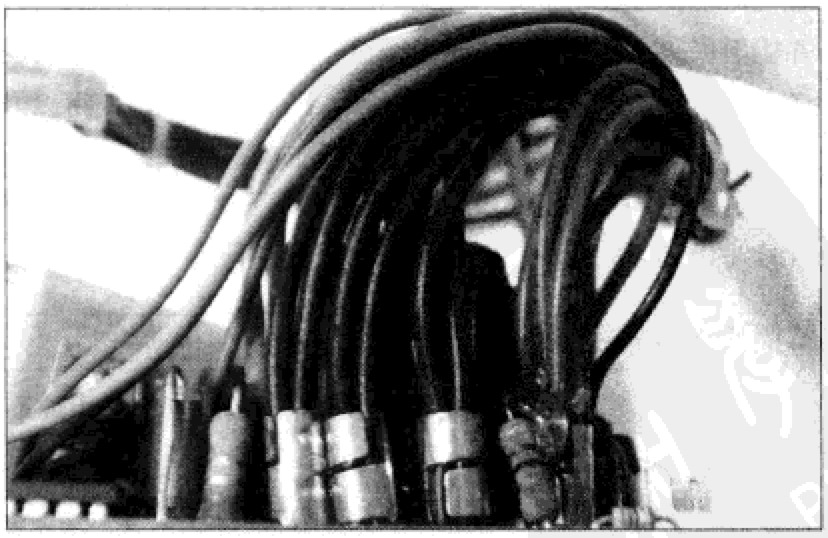


图6（b）电脑电源直流输出专用焊头焊接

接地焊盘设计有讲究

在设计印制板接地焊盘时，为了保证接地焊盘与接地机壳或焊片的可靠接触，可在接地焊盘上加镀一层薄锡或在接地焊盘周围的保护层（防锈绝缘保护漆）上设计一圈圆形或条状小焊点并加镀焊锡（可围绕焊盘固定螺孔，在焊盘周围设计一圈辅助小焊点）。另外在固定接地焊盘螺钉时可加垫花边垫圈，形成良好的接触。这里给焊盘镀锡的作用:一是防止焊盘

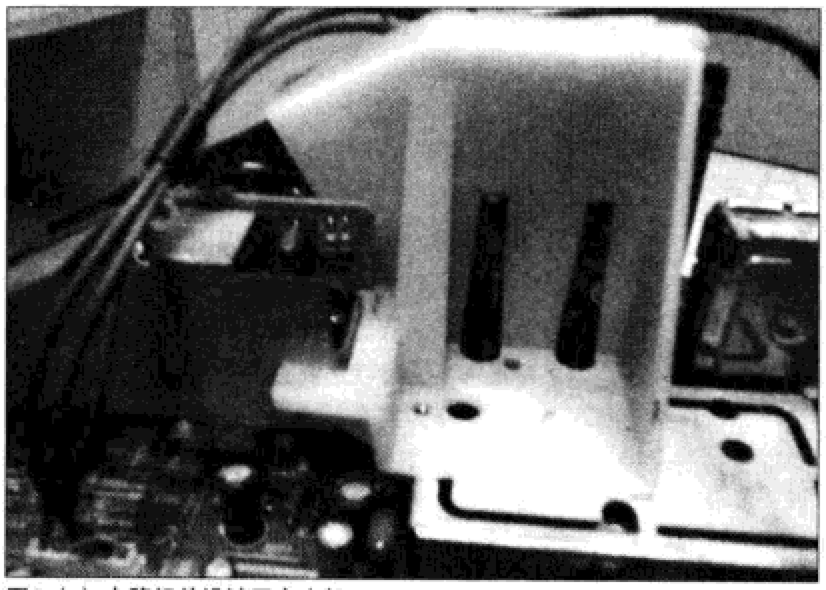


图6（c）电路组件设计固定支架

图6（d）输入/输出端子板与机壳固定

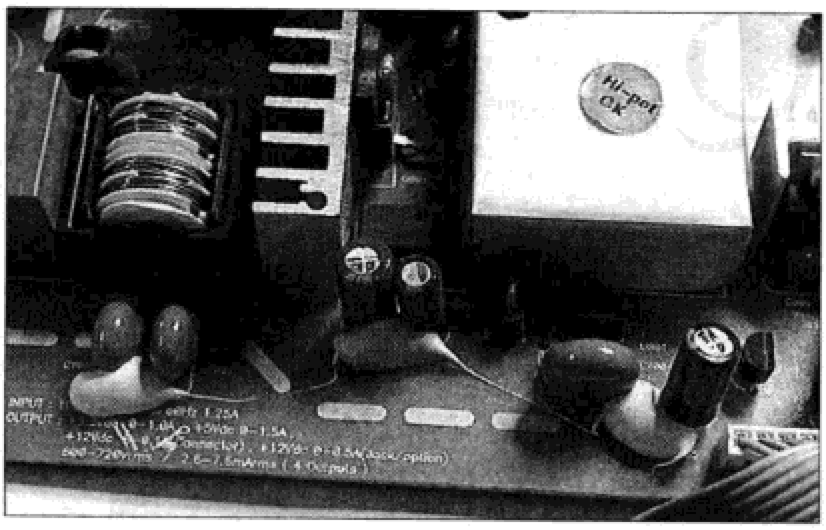


图6（e）电容加胶粘接固定

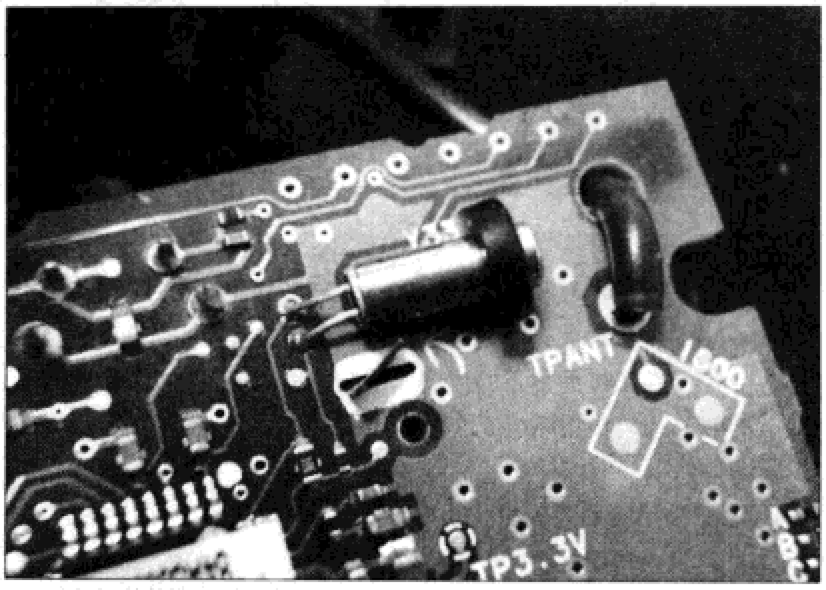


图6（f）晶体振荡器采用橡胶支架减震

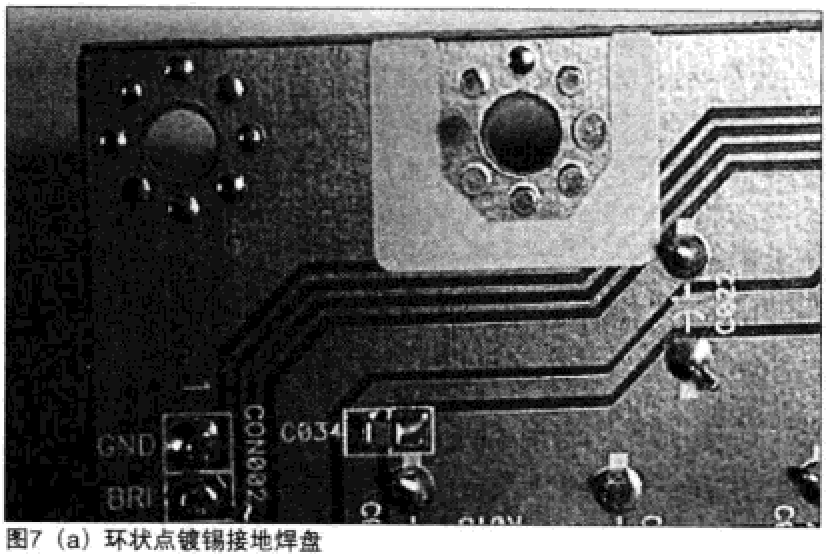


图7（a）环状点镀锡接地焊盘

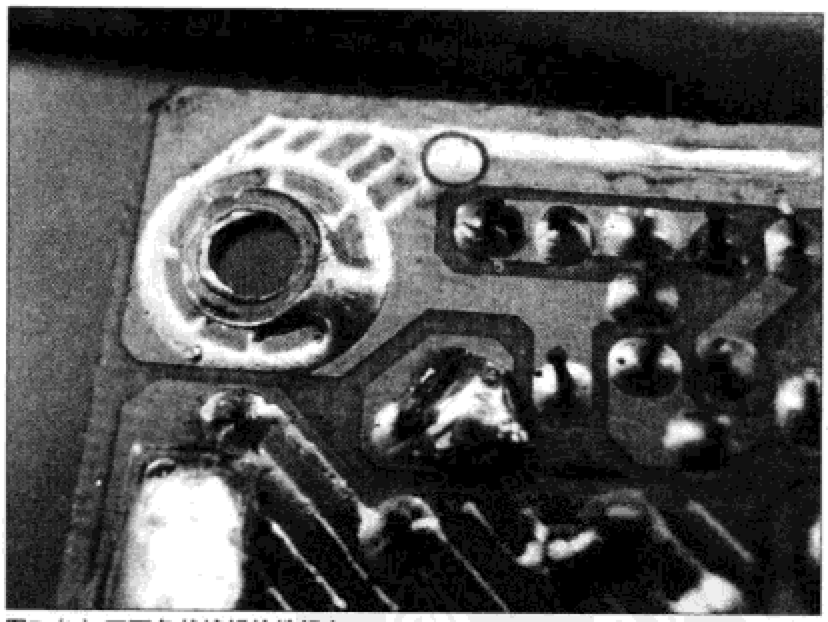


图7（b）双环条状镀锡接地焊盘

裸露在外的铜箔氧化生锈，二是经过镀锡处理的焊盘导电性能更好，且带锡焊盘的高度也明显高出印制板平面，这样在通过螺钉固定后就能更好的与被接触物形成充分有效的接触，从而达到最佳的连通效果。如图7（a）、图7（b）所示。

综上所述，印制板设计是一个非常复杂的系统性工程，它需要考虑到方方面面的因素，以上只是笔者在维修电子电路中的一点小体会，难免挂一漏万。

问与答

有一台万和牌CXW-180-H05C型抽油烟机，开机后照明灯正常点亮，但电机不转。经检查，电机外观无过热或被烧过而留下的痕迹，不知这种电机是什么类型的？是否电机损坏造成这种故障？ （广东　罗宏）

A 该机采用电容式电机，功率为180W，具有超温保护功能。照明灯亮，但电机不转，说明220V市电已进入电路，故障通常是电机连接电路断路、4μF/500V电容器损坏或电机本身损坏所致。维修时，可分别检查电容器、电机及其连接线，通常以电容损坏或连线断路较为多见。注意，如需调换电容，要选购4μF、耐压≥250V AC的无极性交流电容。如果电容和连接都正常，说明电机不良，再用手拨动叶轮几圈，如果灵活而无卡阻感，则大都是电机绕组引线断裂、脱焊或超温保护器烧坏所致，重新焊接好或更换保护器即可排除故障，较少见的原因是电机绕组被烧坏，这就需要重新绕制或调换电机。 （王德沅）

Q 去年我花了 100 多元购买了一个 LED 强光手电筒，最近发现手电的 LED 灯不亮了。该手电使用一节锂充电电池，型号为 ICR18650，检查电池两端电压为 3.8V，不知是否正常？如果 LED 损坏，可用普通高亮度白光 LED 代换吗？ （湖北　计朋跃等）

A 强光手电筒通常采用大功率照明LED（发光二极管），一般典型工作电压值3.2V−3.9V，电流350~750mA，用普通高亮度白光LED是不能代换的，需要用大功率发光二极管代换才行。现在常用的大功率照明LED主要有美国CREE XRE（科瑞）公司的P4、Q2和Q5等系列产品和韩国首尔半导体公司的P4系列（如N42180等）产品，使用一节锂电池的手电筒一般选择1~2W的白光LED即可，如常见的CREE Q5系列就行。至于ICR18650型锂充电电池，其额定电压为3.7V,额定容量为2500mAH，实测3.8V，属于正常。 （王德沅）

Q 一支有5个发光头的LED迷你手电筒，使用一年多后不亮了。检查电源开关，良好，一节5号电池电压为1.6V,接负载测试表明电量充足，其他电路也无明显的断路现象，这是何故？如何检修？ （吉林　马辉等）

A 这种手电采用高亮度白光LED（发光二极管），具有发光效率高，工作电流较小，价格不贵等特点，近年来普及很快。由于一节五号电池的电压为1.5V左右，低于白光LED的工作电压，不能驱动LED，所以需设置升压电路才行。升压电路通常采用两个不同导电特性的PNP和NPN晶体管组成，而5个发光管大都是并联使用的。所以，如果电池和发光管连接没问题，通常就是升压电路的故障了，由于一般升压电路有6~10个元件，所以检修不会太难，通常以元件脱焊或晶体管损坏为多见。 （王德沅）

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 一台凤凰牌双门电冰箱，最近在化霜操作后发生了不停机故障，压缩机一直在运转，一天都没停下，需要关掉电源才能停机。经检查温控器和冷冻、冷藏箱内壁等，好像都没什么问题，化霜时也没动过什么，不知故障在何处？ （四川　李伟）

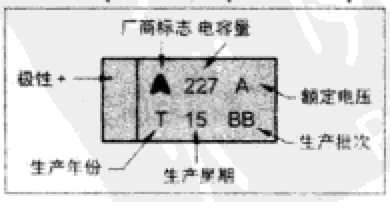
A 这种故障较常见，但是有些人往往感到要判断故障所在甚难。其实，其原因主要有两个：一种是温控系统失灵，另一是制冷系统泄漏。检修时，可将小杯冷水放入冰箱的冷冻箱，过2~4个小时后取出杯子观察，如杯中水已结成厚冰，说明制冷系统基本正常，故障是温控失灵所致，可查温控感温管是否松动、脱落移位，或感温头是否泄漏损坏等，如果都正常，通常就是温控器本身坏了。如杯中水没结冰或只结了薄冰，表明冰箱内制冷剂泄漏，导致制冷量达不到要求而造成这种故障，对此通常自行维修较难，需送专业修理部进行查、堵漏，抽真空，加液和焊接等操作才行。 （王德沅）

Q 一台德生9700型12波段收音机开机后无声，按动几个波段键钮都没用，检查电池电量充足，与电池簧片的接触良好，电源开关也正常，再查电源部分引线和印制线路都无断路现象，而且用外接电源供电也无声。这是何故？怎么检修？ （浙江　姜小波等）

A 这种故障一般是电源电路引起的。该机电源电路是由电源开关、电源开关管8550、电源控制管9014、二极管4148、1MΩ电阻和470μF滤波电容等组成。控制管9014的基极（经10kΩ电阻）受控于译码集成块74HC138的7脚输出电平，当7脚电平为高时，9014导通，使8550导通，电源接通，反之电源关闭。维修时，可先按动波段键，然后测74HC138−7脚和9014基极的电平，若为高，说明故障由开关电路引起，大都是8550或9014损坏所致；若为低，则故障多在控制电路，通常可查74HC138的6、7脚外围元器件及其连接状况等。 （王德沅）

Q 我们在维修手机、数码相机、MP3、MP4和数码相框等数码电子产品时，常常需要检查或代换附图所示的贴片电容器，不知电容器上的符号和数字各代表什么意思？ （北京　崔文浩等）

A 这是美国AVX公司生产的贴片钽电解电容器，在各种数码产品中应用广泛，其封装外壳的标识含义已注明在下图上。其中容量用常规的数字表示法，如227表示220μF等。额定电压用英文字母标识：F=2.5V、G=4V、L=6.3V、A=10V、C=16V、D=20V、E=25V等。生产年份用英文字母表示，如U代表2006年，Y代表2007年等。在应用和检修时主要关注容量和额定电压等参数。（王德沅）



电脑无规律死机（含黑屏）自动重启故障十大原因

◎王绍华

电脑在开启或运行时出现无规律的死机（含黑屏）或自动重启故障是十分令人伤脑筋的事情，该故障涉及范围比较广，既有软件原因，也有硬件原因。总结大量维修经验，大概有十大原因。

软件方面

1. 病毒侵入

如果上网打开或下载一些来历不明的文件或使用来历不明的光盘就很容易使电脑中毒，这时你的电脑就会在运行时莫名其妙的死机或自动重启甚至黑屏。

实例：笔者组装的一台电脑安装了从别人那里借来的几个游戏软件后就出现了电脑运行时无规律死机、自动重启有时甚至黑屏现象。后来只有进行系统重装后才排除了故障。

2. 系统软件损坏

当你的电脑系统装的某个软件损坏时，那么在运行该软件时就会出现死机或自动重启故障。其特征是，运行其他软件正常。那么要想电脑恢复正常就只能重装或删除这个软件。

实例：笔者自家组装的一台电脑，在运行汉王听写软件打字时，由于电脑其他方面的原因导致该电脑经常无规律黑屏或关机。结果其他方面的原因查出后，只要运行汉王听写软件就会出现无规律死机或自动重启故障。当重装汉王听写软件后故障消失。

软件方面导致死机还有一些原因，比如：内存冲突，定时软件或任务软件起作用，或误删了某些共享程序等，这里不再一一举例。

硬件方面

1. 电源插座接触不良

一般大屏幕CRT电脑连同显示器在内，功率在200W以上，市售电源排插多数采用弹性较差的磷黄铜片（有的甚至是铁片镀铜）多次抽插后容易失去弹性而产生接触不良。致使电脑在运行中自动重启或显示器黑屏而指示灯闪烁现象。

实例：朋友家一台电脑在运行时出现无规律自动重启或显示器黑屏，但指示灯闪烁现象，而拿到修理店时又一切正常，后来怀疑自家电源插座有问题。拆开电源排插，发现插座内磷铜片由于接触不良打火已出现烧黑现象。更换新电源插座，故障不再出现。

2.显示器电源线插头与主机插座接触不好

实例：一台电脑使用中显示器无规律黑屏，就像关机一样，黑屏后电源指示灯为红灯，闪烁几下后熄灭。正常工作时，显示器电源指示灯应为黄色。最后查出是显示器电源线插头与主机电源插座接触不好，当更换显示器电源线（带插头）后，故障排除了。

3. 电源性能变差或功率不够

一般电脑 ATX 电源用久后，由于元件老化，比如滤波电容容量减小或漏电严重等，就会使电源输出的谐波含量过大，致使电脑工作时经常性无规律的死机或自动重启。这时用万用表测电源电压往往又是正常的，这种情况很具有普遍性。还有主机增添了新设备，比如更换了容量更大的硬盘或高档显卡或增添了刻录机。如果原电源功率余量不足，致使电源在超负荷运行时，由于输出电流过大而引起电源保护性停止输出。当停止输出后，由于负载变轻，电源会再次启动，由于时间很短，表现出好像是主机自动重启一样。因此遇到上述情况，最好更换一台大功率、高质量电源试试，往往能取得事半功倍的效果。

实例：自家的一台组装电脑，用WORD软件打字时就出现无规律死机或自动重启故障。但用“千千静听”软件播放音乐时，又能工作几小时不死机，有时一开机启动程序还未结束就黑屏关机。开始以为是内存条插座问题，经清洗无效，又怀疑是主板问题。但经主板诊断卡检查，证实主板没有问题。忽然想起每次启动时电源就会发出很响的“嗡、嗡”声，冷机初次启动更是如此。经查电源各路输出电压都正常，电源板上电容也无鼓包、漏液现象，元件焊点也无开裂和虚焊现象。果断更换了一台质量较好的长城牌ATX-300SD电源后，故障从此消失了。

4. 内存条与主板插槽接触不良

由于内存条插脚（俗称金手指）较短，插入主板插槽的深度不足，加之宽度也较窄，故极易发生接触不良现象，从而引发电脑不定时死机或自动重启或干脆无法启动故障。

实例：一台用赛扬817组装的电脑，经常无规律死机或自动重启，有时干脆不能开机，开机后无一声“嘀”的自检声。开始以为是电源方面的问题，但用替换法检查，证明不是电源方面的问题。当取下内存条用干净餐巾纸将内存条插脚（金手指）

擦拭一遍后，重新装上后故障排除。但过了一段时间故障重现，照上法重试后电脑又正常工作了几天，然后故障重现。又如法炮制，但有效期越来越短，最后完全无效。无奈只得将内存条的左右排脚分别向左向右拨移一小位移（注：印制板下焊脚向左移动，上面插槽内的弹性片就向右移动）。其目的是使插槽内的弹片距离变小一点，让弹片对金手指的夹持力增强，从而克服接触不良现象。这招果然灵验，但过了一个多月，故障再次重现。最终只好更换主板才彻底解决问题。顺便说明，若内存条插脚与插槽内弹片完全不通，则刚开机时扬声器中会发出很响的“嘟”声。

5. 显卡、声卡或网卡插脚与主板插槽接触不良

主板上所安装的显卡、声卡、网卡同属电脑系统的一个部分，当这些板卡与主板接触不良时，电脑在启动自检后进入系统时，往往死机或自动重启。

实例：一台组装电脑，开机时有自检声，但进入WINDOWS系统运行时就死机或自动重启。开始以为系统有问题，但重装系统后故障不变。后来将主板上插的显卡拔下，用干净餐巾纸将显卡插脚擦拭干净，重新插紧试机，故障自动消失。

6. 光驱不良

光驱使用比较频繁，当它内部损坏时，也会导致主机启动缓慢或不能通过自检。也有可能在工作中无规律死机或自动重启。

实例：一台组装电脑工作了4年后，出现启动缓慢，或干脆在开机时就又自动关机（无自检声）。有时即使开了机，在工作过程中也出现无规律的死机或自动重启故障，开始认为这是个旧的电脑，就没打算修理该故障。由于该电脑所配光驱非常挑碟，不是质量较好的新碟一般不能读碟。因此对电脑存入新的软件十分不利。于是，决定更换一个新光驱，哪知换新光驱后上述故障一扫而光。原来是光驱在作祟。

7. 硬盘问题

硬盘问题包括：硬盘严重老化或在运行中受到震动而出现物理坏道或出现坏扇区，甚至硬盘与主板的数据线排的插头与插座接触不良，均会导致电脑运行时发生无规律死机或自动重启故障。

实例：一台使用8年多的组装电脑，出现无规律自动关机和重启故障。首先查电源12V、5V、3.3V电压正常，经多方查找也未查出病根。最后发现在碰触硬盘40针数据线端口的插头时，故障出现。拆下硬盘，用放大镜观察终于发现硬盘40针数据线端口有几个焊点似乎有空隙，经重焊并复原电路后试机，故障排除。顺便提及，如果硬盘容量较小，在主板内存又不足的情况下，在电脑运行大型应用程序时，也会出现无规律死机现象，不过这种情况不常遇见。

8. CPU散热不良（或测温电路失效）

CPU、硬盘、显卡在工作时会有很大的发热量，多数都配有自己的散热风扇。如果风扇灰尘过多，润滑不良，导致风扇转速过低或不转，就会使CPU温度过高而保护性关机或自动重启。另外，CPU下面的测温电路损坏也会导致CPU在正常温度的情况下而执行了保护性关机或自动重启。

实例：一台使用六年的组装电脑，经常出现无规律死机或自动重启现象。在夏天情况更严重。打开主机侧盖通电试机，发现CPU的散热风扇在开机后转速很慢，且快慢不均。手摸CPU散热片烫手，怀疑风扇有问题。关机后用手拨动风扇叶片感觉有阻力，看来风扇的确有问题。换一个正常风扇后排除故障。

9. 主板问题

电脑主板是电脑正常工作的平台，电脑各系统的联系也是通过这个平台来展开的。如果主板上有元件不良或虚焊，就会导致电脑开启或工作时出现无规律死机或自动重启现象。

实例：一台组装多年的电脑，工作中经常出现无规律死机或自动重启故障，热机时故障更严重。首先排除了电源、内存条、显卡等方面的原因。经用主板诊断卡检查，发现是主板本身问题。经观察主板上没有电容鼓包现象，但用放大镜观察，终于发现一个编号为D4的塑封二极管（体积与3A整流二极管体积相当）一端因穿过印制板的长度过短而出现裂纹（虚焊）。拆下该二极管用什锦锉将引脚直径锉小后，使引脚穿过印制板的长度达1mm。重焊后试机，故障不再出现。

10. 内存条本身不良

电脑若长期超频使用也会导致内存条加速老化，且工作越来越不稳定，发热量增加。从而引发无规律死机或自动重启故障（内存条上某个存储芯片未完全损坏时，是可以通过开机自检的）。

实例：一台工作近7年的组装电脑出现无规律死机或自动重启故障，冷机时情况相对严重些。首先排除了电源方面的原因，接下来也排除了内存条与主板插槽接触不良的原因。从另一个电脑上取下了一块256M的内存条安装后故障竟消失，将该机内存条安装到另一台电脑上使用时，也出现同样故障。看来故障在内存条本身，重新更换一块256M内存条后，电脑工作恢复正常。

从上面故障原因可以看出，电脑出现无规律死机（或黑屏）或自动重启故障，多数为硬件方面的原因。从检修实例的多数情况来看，电源故障不可轻视，其次就是主板和与主板相连的几个板卡的连接接触不良的问题。最后就是散热问题。

怎样检修笔记本电脑的电源适配器

◎张仕宪

随着人民生活水平的提高，笔记本电脑也越来越普及。所有的笔记本电脑都离不开一个重要的部件——为它提供电源的交流电源适配器。这些电源适配器体积很小，其内部结构非常紧凑，而其消耗功率相当可观，一般可达 30 ~ 90W！所以它工作时的发热也比较高，因而它也成为笔记本电脑部件中故障率较高的一个。在台式电脑的液晶显示器中，也有一部分是将其电源电路独立置于机身之外，与笔记本电脑的电源适配器大同小异。

电源适配器损坏后，如果去市场上购买一个全新原装的，通常需要数十甚至数百元的花费。其实这些电源适配器的损坏一般并不严重，并且多数具有一定规律性，花费不多即可修复如初。

一些刚刚涉足维修的电子爱好者，往往觉得这些采用开关电源的适配器比较复杂，维修时无从下手。其实，不同品牌、不同型号的笔记本电脑和液晶显示器的电源适配器其内部电路设计基本相同，初学者只要掌握一种典型的此类适配器开关电源的工作原理，维修起来就不困难了。本文就以在笔记本和液晶显示器电源适配器中运用相当广泛的采用KA3842控制芯片的一种典型适配器为例，说明其工作原理与检修方法。图1所示的是这种适配器开关电源的电路原理图，图2所示的是该电源所使用的三星公司的开关电源控制芯片KA3842引脚功能。

电路基本工作原理

该电源适配器完成将220V交流电压转换为19V直流电压输出的功能，输出电流约3A。电路基本工作过程如下：

220V交流电压经桥式整流电路VD2（KBP206G）整流、C1滤波后得到约300V的直流电压，该电压一路经开关变压器T1的1-2脚绕组加至场效应开关管VT1（K2543）D极，另一路经R4降压后得到约17V启动电压给IC1（KA3842）7脚供电，并从IC1内部基准电压发生器产生5V基准电压从第8脚输出，此时其内部振荡器起振，从第6脚输出调宽脉冲（PWM），驱动开关管VT1，使其工作在开关状态，VT1的D极输出电流在开关变压器T1 初级绕组上产生感应电压，经磁芯耦合到T1次级，在次级5-6脚绕组上产生的感应电压经肖特基二极管VT2、电容C4整流、滤波后得到19V直流电压输出。

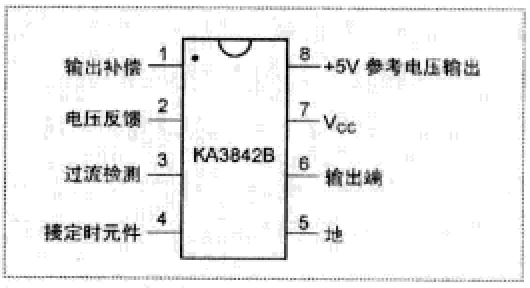


图2 KA3842各引脚功能

为保证输出电压稳定，输出端由R13、R14对19V输出电压进行误差取样，取样电压由三端可调分流基准IC3（TL431）进行比较和误差放大，再驱动光电耦合器IC2（PC817），将误差电压耦合放大后送到IC1（KA3842）1脚，通过内部PWM电路改变6脚输出脉冲的宽度，使VT1的开关时间发生改变，从而达到调整输出电压的目的。经过这样一个反馈控制过程后，最终使输出电压稳定在19V上。

该电路中还设有几路过压、过流保护：

1. 开关变压器初级绕组第3-4脚的感应电压经VD4、C2整流、滤波后得到约17V电压送至IC1第7脚，用以维持IC1正常工作（300V电压经R4降压供给7脚的电压因电流较小只作为启动电压），当某种原因引起输出电压升高时，该路电压也将升高，当该电压升高至22V以上时，稳压二极管VD1将反

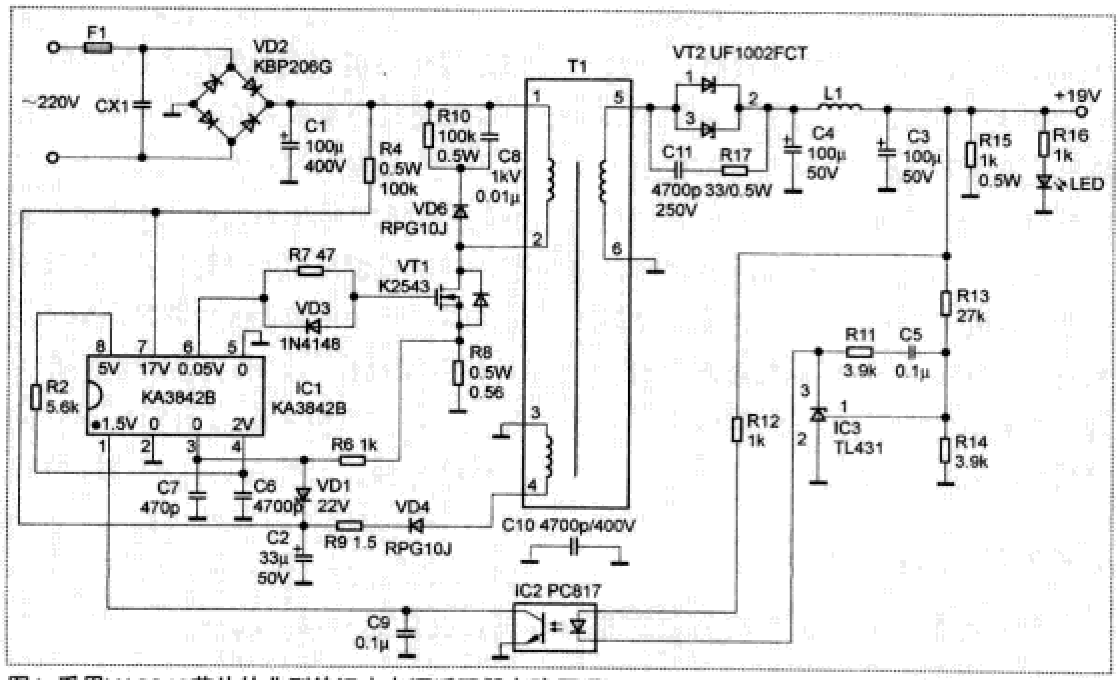


图1 采用KA3842芯片的典型笔记本电源适配器电路原理图

向击穿，导致IC1第3脚过流保护端的电压升高至1V以上，此时IC内部将关断第6脚的脉冲输出，使电路停止工作，达到过压保护的目的。

2. 当某种原因使开关管VT1电流过大时，VT1的S极所接过流取样电阻R8两端电压将升高。当该电压升高至使IC1第3脚电压高于1V时，也将切断IC1第6脚输出，起到过流保护作用。

3. 开关管VT1 的D极所接的R10、C8、VD6组成尖峰吸收回路，对VT1截止期间T1的1-2脚绕组上产生的尖峰感应脉冲进行吸收，防止VT1被击穿。

常见故障及检修方法

笔记本电脑和液晶显示器的此类电源适配器常见故障通常都表现为无输出电压，但是造成该故障的原因却有所不同，常见的有以下几种：

1. 开关管VT1击穿

该管击穿的原因多是由自身过热所致，但也有可能是其他原因导致其击穿，如消尖峰元件开路或虚焊、IC1损坏、IC2损坏等。一定要在排除其他原因后才可换上新管通电试机，否则将再次击穿新管。而且，无论何种原因导致VT1击穿，通常会导致过流取样电阻R8、保险管F1开路，有时还会造成VD1击穿，排除故障后需一并更换。

2. KA3842损坏

从实际维修情况来看，该IC损坏的几率也比较高，多数时候也将造成VT1一并击穿。在确保VT1正常或已更换VT1后，要判断KA3842是否损坏，比较稳妥的方法是：不接通220V交流电源，而是用直流稳压电源外加17V电压供给IC1第7脚，然后测量IC1的8脚输出的5V参考电压是否正常。若此时8脚的5V电压正常，且其他脚电压也基本如图1中所标的电压值，则可断定IC1正常；反之，若7脚外加电源后，8脚的5V不正常，则IC1大多已损坏。在更换IC1后，也可用此法再验证一次。如果在IC1损坏后未更换的情况下即接通220V电源，将造成开关管再次击穿！

3. 肖特基二极管VT2击穿

目前大多数笔记本和液晶显示器的电源适配器输出电流都比较大（至少在2A以上，通常为3～5A），故T1次级的整流（续流）二极管VT2的发热也相当大，而大部分适配器的外壳都是完全封闭的，没有散热孔，即使在使用散热片的情况下，VT2的发热也达到烫手的程度。实际维修中发现，VT2因过热击穿的情况也占一定比例，此时从外部看一般表现为无输出电压。VT2击穿一般不会产生开关管VT1也击穿的连锁反应，在确定VT2击穿、VT1正常后，一般更换VT2即可。

在有的做工比较精良，用料比较讲究的品牌电脑电源适配器中，其电路板上VT2处安装有两个相同型号的VT2并联，以分担电流，降低因发热引起击穿的几率，而本电路中的VT2型号为UF1002FCT，其本身就内含2个肖特基二极管。大多数适配器都采用这样的肖特基双二极管。

4. 光电耦合器损坏

在维修中也有部分因光电耦合器IC2损坏导致的故障，一般表现为光电耦合器内部的光电三极管软击穿，由于IC2损坏后导致误差电压不能由次级输出端反馈到初级的IC1的PWM电路，通常也会造成开关管VT1击穿。由此也可以看出，在这类电源适配器中，开关管击穿的情况很多，但并不都是其本身的原因，在这里再次强调，若发现VT1击穿后，必须一个个排除引发VT1击穿的所有可能后方可通电。

5. IC3（TL431）损坏

TL431是一片三端可调分流基准IC，外形像一个9013之类的三极管，很多初学者经常误把它当成一个三极管来测量。维修中发现也有该IC损坏造成无输出和VT1击穿的情况，但相对不多。而该IC第1脚外接的取样电阻R13和R14的分压比例决定了该电源的输出电压高低，故这两只电阻通常都采用五环精密电阻，有时还是用几只电阻串、并联以达到需要的分压比例，如该例电路的R13和R14分别为27kΩ和3.9kΩ，其分压比例使输出电压刚好为19V。电流接近，而输出电压不同的适配器，区别就在于这两只电阻的阻值。若两电阻阻值相等，则输出电压为5V。

6. 整流桥堆VD2击穿

在220V的整流电路中，有的适配器使用的是4只分立的整流二极管，有的使用桥堆，这一部分电路发生故障通常是4只整流二极管中的一只击穿，不论是哪一只击穿，都将造成220V交流被直接短路，这是非常严重的短路，此时保险管F1会烧断，并且，保险管烧断的症状比其他元件短路引起的保险丝熔断要严重很多，通常是保险管完全烧黑，甚至玻璃外壳也烧碎！检修中，如发现保险管呈这样的烧毁状态，要首先考虑交流短路的情况。

总结

由以上分析可知，笔记本电脑和液晶显示器电源适配器的各种故障中，开关管是故障率最高的一个元件，但它并不一定是根本的原因，开关管击穿时一定要检查其他相关元件。在更换开关管时，尽量使用同型号管，若同型管不易购买，可使用其他参数高于原型号的同类型管代换，如本例电路中的开关管K2543，可用各项参数均高于它的K2843代换。而控制芯片KA3842B损坏后，可以用UC3842B代换，也可用KA3843B代换。但KA3843B不一定能用KA3842B代换。

问与答

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 一台 DVD 播放器的遥控发射器有几个按键不太好使，需要按动多次才行，有时甚至完全无效，曾经多次拆开遥控器，用无水酒精擦洗导电橡胶和印制板，再用铅笔涂覆导电橡胶触点，但是每次都是没用多久就又不灵了，想换一个新的，但因为牌号稀少，不是购不到就是要高价，不知能否较好地排除这种故障？（湖北 朱江力等）

A 这种故障十分常见，主要是按键开关触点存在污垢或导电橡胶磨损而导致开关接触不良所致。如果是导电橡胶磨损，仅用酒精擦洗和用铅笔涂覆等方法只能暂时解决问题。较好的解决办法是，先用无水酒精擦净导电橡胶和印制板，然后裁剪与导电橡胶触头接触面相等大小的铝箔，再将铝箔用“百搭胶”类胶水粘贴在触头上，这样就能较彻底解决问题。这里取得成功的关键是要保证铝箔粘贴牢固，不然使用寿命就不长了。这种方法同样适用于彩电、空调等家电的遥控器。（王德沅）

Q 有一台笔记本电脑，主要配置为：主板－i815EP，CPU－PⅢ 1GHz等。原来使用一直正常，但是最近经常出现自动重启故障，有时开机后在启动过程中就自动重启了，有时则是启动进入系统后不久就重启。经过查杀病毒、重新安装系统，还对电路板、CPU风扇和内存条等进行了清洁和擦拭，但是都没效果，不知究竟是什么原因？如何排除故障？（湖南 徐卫军）

A 从电脑主要配置看，这台笔记本已经使用多年了，造成这种故障的主要原因是CPU不良或散热不好，所以查杀病毒、重装系统和进行除尘等清洁是无效的。检修时，可先查看CPU风扇运转是否正常。再查CPU和散热器的安装情况，若两者安装不良会使CPU工作时温升过高而导致自动关机或重启。倘若都正常，那么大都是CPU本身的问题。尽管CPU故障较少见，但若长期工作在过热、潮湿或多尘等不良环境下，就有可能损坏，所以应尽量避开这种环境，同时要注意，在安装CPU和散热器时要确保两者的热接触良好。（王德沅）

Q 我家一台电脑的CD-RW GCE-8481型光驱，以前无论读盘还是刻录，效果都非常好，但是最近发现只可读盘不能刻录，刻录机工作时刻录过程都正常，最后也会提示刻录完成，但是把刻录好的光盘进行读盘就什么也没有，这是何故？怎么解决？（辽宁 高拂晓等）

A 只可读盘不能刻录故障，往往使人疑惑，认为光驱是好的，其实不然。由于刻录时激光头输出功率要求比读盘时大许多，因此激光发射管老化后，虽然能够读盘，但刻录时的激光输出就不够了，所以首先出现的故障往往是不能刻录。检修时，应先清除激光头上的尘埃，然后适当调大激光头的工作电流，通常调整电位器的阻值为原来的2/3左右为宜，如果调整过半还不行，说明激光管已严重老化，应该换新件了。（王德沅）

Q 一台美的SF184型电磁炉用了一年多后，出现了运行噪声大的故障，同时显示E11故障代码，而且噪音有越来越大的倾向。曾怀疑散热风扇的转轴不正，拆机后调整了一下，开机后噪声减小了，但是仍显示“E11”故障代码。不知“E11”和其他代码表示什么？是电源电压太低吗？怎样排除这种故障？（上海 金世伟）

A E11代码不是表示电源电压太低。美的SF184等型电磁炉的故障代码E01、E02、E03和E11都代表主传感器故障，E04～E06代表散热片传感器故障，E06代表“低压保护”，E08代表“高压保护”，E10代表“干烧保护”，SF174、194、204、214等机型也一样，所以应检查主传感器电路和电源等电路。至于噪声大，主要和风扇及变压器不良有关，既然调整风扇转轴能使噪声减小，说明主要还是风扇故障，如果经过调整修理仍然不行，可考虑换新。

（王德沅）

Q 我家的一台电脑用了3年多，近期开机后经常可听到“嗡嗡”的响声，有时甚至自动关机或重启，我们认为是机内灰尘等造成CPU风扇散热不良所致，于是拆机对机箱内主板和主要零部件进行了彻底清洁，完成后，开机启动和桌面显示都正常，但是鼠标和键盘都失效了，怀疑是清洁过程中弄坏了电路或零件所致，但几经检查没有结果，这是何故？怎么解决？（贵州 李奇宏等）

A 这种故障通常是误插鼠标和键盘插头所致，但是有些用户却反复检查电路，结果一无所获。家用电脑的有线鼠标和键盘大都采用PS/2接口，两者的插头是相同的，因此在清洁或维修电脑后不注意就易插错，插错后电脑虽能启动，但鼠标和键盘都失去作用，有些安装了双系统的电脑启动时还会停留在“双系统选择菜单”处，需要按回车键才可进入window系统。所以只要将鼠标和键盘插头换位插入电脑的插口即可解决问题。（王德沅）

Q 将一台打印机和一台家用电脑联机准备打印文件，在插入打印机电源插头时，听到“啪”的一声，同时看到有火花闪出，赶紧关机断电进行检查，所幸打印机完好无损，电脑也基本正常，但是USB插口被烧坏失效了。拆机发现USB插口是与主板连接在一起的，不知如何予以修复？（广东 周戟）

A 一般电脑 USB 插口的两个数据端都是经过串联电阻（或电感）和主板内电路连接的，而且有些电脑在串联电阻后还有一个接地电容。而所述故障大都是因为电源插座不良或误插打印机插头，致使电源进入 USB 插口电路而造成的，通常首先烧坏的大都是上述电阻或电容。所以维修实际并不难，只要确准电阻或电容损坏，换上同规格元件就能解决问题。应急修理时，甚至可暂时省去电阻或电容，电阻损坏时直接将其两端连接，电容损坏可拆下不用。（王德沅）

电热水壶无法加热故障的检修

◎李惠平

一台ACA牌VJK317型分体式电热水壶（800W、1.0L）出现无法加热、电源指示灯不亮的故障。

检查步骤

1. 整体检查

将电热水壶体放在供电底座上用手压紧或给电热水壶加水(如图1所示，目的是为了增加电热水壶体的重量，使其底部的电极能与供电底座上的电极可靠接触，同时也便于电热水壶体上的加热杆开关能可靠自锁接通)，并按下加热杆开关，用万用表测量电源线插头两端是否导通(正常情况下，800W功率电热管直流电阻约为60Ω)，经测量不通，表明电热水壶存在开路性故障（断路）。

2. 分体检查

（1）检查电热水壶体

按下加热杆开关不放手（注意当电热水壶体与供电底座分开时，加热杆开关按下就不能自锁，即与其所连的温控开关不能持续可靠接通），再用万用表测量电热水壶体底部电极的里层铜环及中心铜柱的电阻（电热水壶体底部电极分3圈，最外层铜环为接地电极，里层铜环和中心铜柱为220V交流供电电极，测量时应测里层的铜环和中心铜柱间的通断）。经测量电阻为61.8Ω，说明电热水壶体内部温控开关正常导通、电热管及线路均正常（图2），据此推断开路故障可能出在供电底座上或供电底座与电热水壶体电极接触上。若测得电阻远大于61.8Ω，则说明线路导通不良，可能为温控开关不良。若测量结果是完全不通，则大多都为温控开关烧断，优质品牌的电热水壶的电热管损坏情况较少。

（2）检查供电底座

首先，不拆开供电底座，直接测量供电底座电极至电源插头电极的通断。同样，最外层为接地电极，应测里层两个电极至电源线插头电极间的通断。具体方法是，将一支表笔插在供电底座中心孔内的电极上，另一支表笔接电源插头的一个电极（图3），如不通，再换接另一个电极，此时应导通，同理再测量里圈电极至电源插头另一个电极，经测量都各自导通，说明供电底座没有断路。

3. 分析判断

既然分别测量电热水壶体及供电底座都基本正常，那么电热水壶不通电就有可能是电热水壶体及供电底座之间接触问题，他们之间一定存在断路性故障。

电热水壶体底部电极为铜环及铜柱，经观察其表面光亮洁净，未见烧坏变形，不大会产生接触不良故障。而供电底座就不同了，因为供电底座上的两个电极均为磷铜片弹性电极，使用日久会产生变形、丧失弹性，触点也会烧蚀变黑，当电极变形无法弹起时就会与放置在其上的电热水壶体电极接触不良甚至完全无法接触上，所以问题很可能就出在供电底座的电极上（图4、图5）。

根据以上分析，进一步检查供电底座。仔细观察供电底座的两个电极，发现磷铜片电极已严重下弯变形错位，

图1 电热水壶体及供电底座

图2 测量电热水壶体里层两个电极电阻

图3 测量供电底座电极至电源插头电极电阻

图4 电热水壶体底部电极光亮洁净

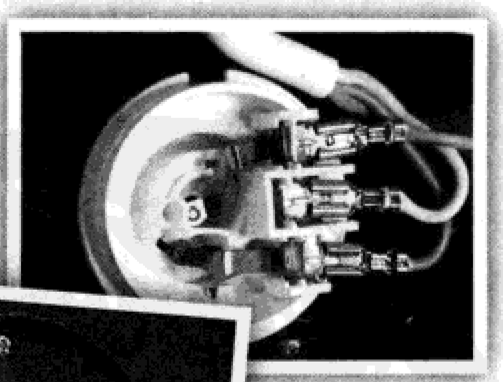


图5 加电底座内部磷铜片弹性电极

气压、电泵两用型电热水瓶的维修

◎王绍华

宇景FDH-36气压、电泵两用型电热水瓶主要由瓶盖、瓶壳、内胆、加热器、气压出水装置、电泵出水装置和电源线等组成。其电路原理图见附图，主要由煮水、保温电路、出水电路和防干烧电路三部分组成。下面简单介绍其工作原理和常见故障维修。

原理简述

在内胆注满水后，插上电源插头，按下外部ST3复位开关，则220V市电被接入图1中L、N两端，经保险管FU被分成两路：其中一路经煮水加热器EH1、煮水温控器ST1、防干烧温控器ST2构成回路，另一路经保温加热器EH2、整流二极管VD10、保温温控器ST3构成保温电路（只在交流电的半个周期内通电）。在通电初期，温度未达到84℃时，煮水加热器EH1和保温加热器EH2同时对内胆中的水加热。此时煮水指示灯VD7（红色）点亮，由于此时温控器ST1、ST2均处于接通状态，所以保温指示灯VD8（绿色）不会点亮。当内胆中水加热到84℃时，保温温控器ST3触点断开，EH2不再加热，待内胆中水加热至沸腾温度（96℃）时（注：ST1温度达96℃时，内胆中水温已达100℃），煮水温控器ST1触点断开，EH1停止加热。由于ST1触点断开，保温指示灯VD8（绿色）点亮。电流回路是从N点→R3→VD9→VD8→EH1→FU→L点。与此同时，煮水指示灯VD7（红色）的供电回路被切断，所以煮水指示灯VD7熄灭。必须说明：ST1动作后不能自动复位，像电饭煲磁钢温控器一样，必须待温度降到动作温度以下，用外力按下外附复位按钮才能重新接通。当水胆中水温降到60℃时，保温温控器ST3又会自动接通，此时半周电流（设N点为交流电正半周，电流流向为N点→ST3→VD10→EH2→FU→L点）流过保

且触点有些烧蚀变黑，同时没有弹起到应有的高度，这样在烧水时电热水壶体底部的电极就不能与供电底座上的电极接触上，即电热管无法加电，电源指示灯也就不能点亮，由此可以断定开路性故障一定就在这里。

4. 确认故障

为了进一步确认故障，试将供电底座上变形错位的两个电极取下进行整形矫正、清洁，使其恢复原来的形状及原有的高度，然后再将供电底座组件直接放到电热水壶体上用手压紧，并按下加热杆开关，再用万用表测量电源插头两端（或直接测量电极引出端）电阻，经测量，电阻已恢复正常，由此说明故障确系由加电底座电极变形无法接触所致。将加电底座重新装好，将电热水壶体放在供电底座上并按下加热杆开关，再一次测量电源插头两端电极，电阻完全正常。最后还应做烧水测试，给电热水壶加入凉水并插上电源试烧，水烧开后加热杆开关自动跳闸断开，说明电热水壶已完全修好，可正常使用了。

由于磷铜片电极只是变形错位，并没有退火发黑变色、丧失弹性，故以上处理是完全可行的，能保证维修的质量。如果触点烧坏、电极簧片发黑变形，弹性丧失，虽然通过清洁、整形也能暂时修复，但使用寿命并不会太长。

小结

1. 分体式电热水壶常见故障

（1）供电底座电极接触不良或无法加电。如电极没有损坏，则可通过清洁触点，整形电极来修复。

（2）电热水壶体内部的温控开关不良，造成无法通电或烧不开水就跳闸断电，这种情况必须更换温控开关。

2. 日常保养

（1）电热水壶绝对不能干烧。

（2）加水高度不能超过最高水位线，也不能低于最低水位线，正确的水位应在最低水位线和最高水位线之间。

（3）电路部分绝对不能进水，若进水，必须彻底晾干后再使用。

（4）电热水壶外部不能用水冲洗，如需清洁可用湿布擦拭。壶胆内部的水垢可使用食醋泡洗。

（5）电热水壶水烧开后，要等到加热杆开关自动跳闸断开后才可取下电热水壶体。另外，水烧开后不要人为拨动加热杆开关断电。

（6）使用电热水壶烧水时，最好先插上电源，然后再按下加热杆开关烧水。

（7）由于电热水壶是大功率电器，所以一定要使用优质电源插座供电。

（8）要经常检查电源插头、电源插座。如发现电源插头、电源插座发热则说明电源插头或电源插座接触不良。

（9）电热水壶使用过程中如发现异常响声、焦糊味等应立即断电检查。

（10）定期清除底座电极上的污渍，整形电极簧片，使变形的簧片恢复原位，只有这样才能有效地延长电热水壶使用寿命。

温加热器EH2，以低功率30W对内胆中水进行保温加热。若水温超过84℃，ST3就会再次断开，因此瓶中水温可以保持在60℃～84℃。

该电热水瓶有两套出水装置：瓶顶部为气压出水装置，主要由压水盘、压簧和由硅橡胶制成的气囊组成。由于瓶盖与内胆处于密封状态，当压下水盘时气囊产生的压缩空气对内胆中的水面不断施压，水受压力作用后经导水管、出水管流出。松开压水盘后，气囊在压簧作用下复位，水面压力消除，不再出水。气压装置主要在停电状态下使用。另一套为电泵出水装置，主要由低压直流电机、水泵、出水管和出水开关SA等组成。当按下出水开关SA时，220V市电加至电源变压器T的初级线圈，次级线圈输出约7V的交流电压，经VD1～VD4桥式整流，C1、C2滤波，三端稳压块LM7805稳压后得到5V直流电压，供给水泵电机M，使之转动抽水。同时5V电压还经R2使水泵工作指示灯VD5（橙色）点亮。当手松开出水开关SA后，SA自动断开，泵水停止。

图中ST2是防干烧温控器，它是防止由于ST1损坏，触点不能断开，致使内胆中水烧干或无水通电，当内胆温升至130℃时，ST2触点断开，切断煮水电路电源，防止烧坏加热器。待内胆注水冷却后，ST2触点闭合，水瓶恢复正常使用。

故障检修

该电热水瓶常见故障有：

1. 通电后，红色煮水指示灯不亮，也不能加热

该故障说明电源没有接通。主要检查磁力插头与热水瓶的电源插口接触是否良好、插头内部是否断线、超温保险管FU（250V/10A/169℃）是否熔断、温控器ST1、ST2是否开路性损坏，尤其是ST1容易损坏，应更换KSD-201型250V/5A、96℃±2℃的突跳式温控器。

2. 红色煮水指示灯能点亮，但不煮水

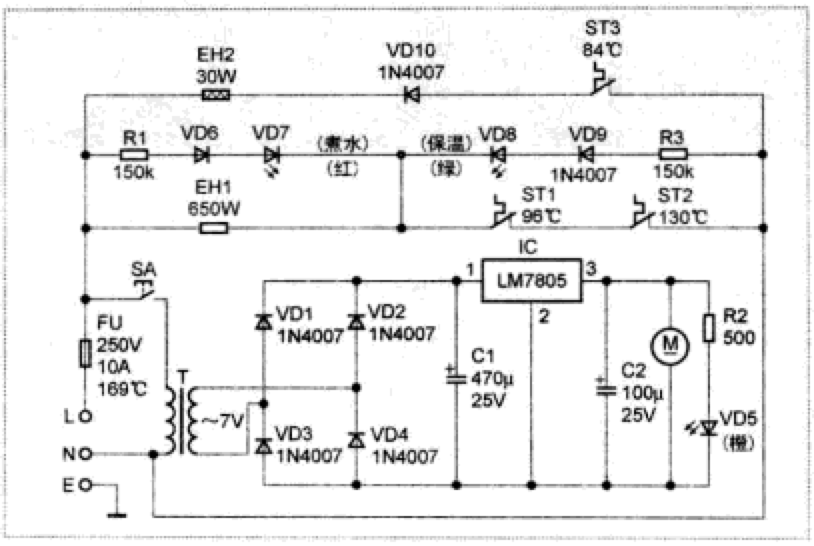
这种情况首先应检查煮水加热器EH1是否烧断。若烧断，应换新。若正常，通常是煮水加热器与保温加热器的公共引线插线端子松脱或接触不良。

3. 不能保温

该故障说明保温电路没有通电，重点应检查保温加热管EH2的接插件是否接触不良、EH2本身是否断路，二极管VD10或保温温控器ST3是否开路性损坏。

4. 能加热，但不能电泵出水，且橙色电泵工作指示灯也不亮

这表明出水电路有故障。应先检查电源变压器次级是否有7V交流电压。如果没有，很有可能是电源变压器T初级开



路，用万用表测量即可确认。如果电压正常，再测三端稳压器第③脚是否有5V直流电压。如果没有，基本可确认是三端稳压器或整流桥堆损坏，应予更换。

5. 电泵工作指示灯能点亮，但不能出水

这基本是直流电机M损坏所致。通常以电机碳刷磨损为多见，更换碳刷，电机即可恢复运转。如果能听到电机通电的“嗡嗡”声，但电机不转，这通常是水泵内部的塑料叶轮变形卡壳所致。更换一只JQ-Ⅱ型电压4～5V的直流永磁电机即可。另外，内胆底部过滤网若被水垢堵塞，也会导致不出水或出水量很小，只需清理水垢后，故障即可排除。

6.加热时不漏水，停止加热，待瓶体温度降至常温后，旋转盘下方有积水

该故障说明水瓶中的水道有隐性漏水，需仔细检查才能确定故障部位，检查重点部位是透明蜗牛状塑料泵壳。这是因为电泵高速转动时，在高温热应力作用下，尤其是使用年限较长的水瓶泵壳局部会出现细微龟裂纹，温度高时，塑料体膨胀，裂纹暂时堵塞，不漏水，温度下降后，塑料体收缩，裂纹重现，水就会从裂纹处漏出。找到裂纹并清洗干净后，可用504A、B胶调和涂敷在渗漏处，即可解决漏水问题。

7. 外壳漏电

（1）由于使用不当，在注水时不慎使水渗入瓶内电路，使元件受潮引起漏电。可用电吹风彻底烘干再使用。

（2）因加热器的绝缘云母板损坏或烧穿，导致电热丝与内胆接触而引起漏电，可用万用表R×10k挡测量加热器与内胆的绝缘电阻，正常应为“∞”。若电阻很小，可拆开加热器电热丝，在漏电或击穿处重新安上新的云母片后，再重绕复原即可。因内胆焊缝爆裂，出水管接头松动，橡胶管龟裂，泵壳出现裂纹等原因导致电路元件受潮而引起漏电。此时必须找出漏水点，经修复和干燥处理后，故障才能排除。

问与答

Q 一台凤凰牌 170 升双门电冰箱，原来一直正常工作，最近突然发现冷冻箱内的食物解冻了，经检查发现压缩机没运行，但电源和温控器都正常，压缩机的热保护元件也是好的，用手摸压缩机感觉较热，是不是压缩机已经损坏？据说调换一台压缩机需要 300 元左右，不知能否自行修复？ （江苏 林伟佳）

A 这种故障较常见，往往有人认为是压缩机损坏所致，还有“维修人员”据此索要高价才肯维修，其实此故障大多与压缩机无关，而是启动器损坏造成的。该电冰箱采用重锤式电磁启动器，工作日久后，其触点容易被电弧烧坏而失效，致使压缩机不能启动。通常只要拆卸启动器，用细砂布将触点磨光滑并且使重锤活动灵活，再重新安装好即可排除故障。有少数启动器可能因内部触点或支柱等零件损坏严重而难以自行修复，那就需要换新件了。 （王德沅）

Q 有一台 ONDA VX747 型 MP4 播放器，播放正常，但是想扩展存储空间却不行，插入 Mini SD 卡后不读卡，怀疑插槽和 Mini SD 卡接触不良，但是清洁记忆卡的金手指后故障依旧，而且 Mini SD 卡在读卡器上试过，证明是好的。这是什么原因？怎么排除故障？

（海南 邢德松等）

A 造成这种故障的主要原因有两个：一是播放器扩展插座与 Mini SD 卡接触不良，二是主芯片相应引脚与扩展插座的连接断路。如果排除了前者，那么故障就是后者引起的。该播放器的 Mini SD 卡插座的 7 个端点分别通过印制电路与主芯片的 P9/R13/P13/R14/P14/R15/P15“引脚”对应连接，所以可检查这些端点以及它们与主芯片引脚的连接状况，通常以插座簧片损坏或“主芯片”引脚脱焊为多见，如果前者正常，就是主芯片脱焊所致。由于主芯片为 BGA 封装，不能用电烙铁焊接，需用热风枪对主芯片进行加热，使芯片引脚焊点与印制板“熔接好”即可。使用热风枪，通常需将显示屏和电池等容易受热损坏的元器件先拆下，同时操作者应该有较熟练焊接技能才行。 （王德沅）

Q 我有一个台电酷闪2G U盘（闪盘），在与电脑连接进行拷贝或打开文件等操作过程中，常常会莫名其妙地跳出“不安全退出”提示框，同时电脑闪盘文件夹自动退出，盘符消失。需要重新拔出、插入闪盘才能再次操作，令人郁闷，不知什么原因，怎么解决？

（重庆 丁德胜）

A 闪盘读写过程中自动退出的原因主要有三个：一是闪盘插头和插口接触不良，导致闪盘在工作中自动退出，二是在闪盘中的文件系统紊乱，致使闪盘读写中出现错误信号而自动退出，三是U盘内部电路存在故障造成的。维修时，首先检查闪盘插头和插口，如果闪盘或插口金手指存在污垢，可用文具橡皮擦除，还可用无水酒精清洗。倘若接触良好，再查闪盘存储的文件是否有问题，删除不良文件，必要时可先拷贝U盘中的所有文件备份到电脑，然后用电脑对闪盘格式化，再将备份文件复制回闪盘。如果第一、第二点都正常，那么就是U盘内部电路的故障了。 （王德沅）

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 现在的数码相机、手机、MP3、MP4和电视机等电子产品中广泛采用了各种大大小小的贴片电阻，维修中常需检查或代换这些电阻，不知如何辨识贴片电阻的额定功率？ （辽宁 韩杰等）

A 可从贴片电阻的封装代码或尺寸大小来辨识贴片电阻的额定功率。贴片电阻常见封装有9种，用两种尺寸（封装）代码来表示。一种是由4位数字表示的EIA(美国电子工业协会)代码，前两位与后两位分别表示电阻的长与宽，以英寸为单位。另一种是常用的公制代码，也由4位数字表示，其单位为毫米。具体如下表所示。

附表：贴片电阻尺寸代码和功率的关系。

英制代码 (inch)	公制代码 (mm)	长(L) (mm)	宽(W) (mm)	高(t) (mm)	功率 (W)
0201	0603	0.60±0.05	0.30±0.05	0.23±0.05	1/20
0402	1005	1.00±0.10	0.50±0.10	0.30±0.10	1/16
0603	1608	1.60±0.15	0.80±0.15	0.40±0.10	1/10
0805	2012	2.00±0.20	1.25±0.15	0.50±0.10	1/8
1206	3216	3.20±0.20	1.60±0.15	0.55±0.10	1/4
1210	3225	3.20±0.20	2.50±0.20	0.55±0.10	1/3
1812	4532	4.50±0.20	3.20±0.20	0.55±0.10	1/2
2010	5025	5.00±0.20	2.50±0.20	0.55±0.10	3/4
2512	6432	6.40±0.20	3.20±0.20	0.55±0.10	1

（王德沅）

Q 一台家用电脑使用了3年多，最近发现键盘的A键不良，需要反复按动多次才能打出A字母，检查发现按键的弹性好像不太好，估计是按键下的塑料弹性帽老化所致，但是这种零件无法购到，不知有没有比较好的解决方法？ （新疆 陶宏等）

A 这种故障通常是个别按键接触不良所致，与按键塑料弹性帽老化无关。维修时，可拆卸键盘，取出薄膜印制电路板，用文具橡皮擦除对应A字母按键触点上的污垢，然后重新安装好就能解决问题了。注意切忌使用刀具刮或用砂布磨触点，否则极易损坏触点，并且难以修复。如果塑料弹性帽老化，则主要引起按键弹性不良，对此，可将不太使用的按键，如：Scroll Lock、Pause Break、Tab等和A键的弹性帽互换使用，但是这种方法对采用一体化弹性帽塑料片的键盘并不适用。 （王德沅）

Q 一台德生 R-818 型数字显示收音机，开机后收音正常，但显示屏所显示的频率与电台的实际频率相差很多，例如收听频率为 6.26MHz 的电台广播时，显示屏却显示为 98.26MHz 等，试换两节新电池，结果也一样，不知什么原因造成这种故障？如何检修？ （广东 彭福泉等）

A 该机显示电路主要由 LCD 显示模块为核心组成，显示模块背面有 8 个引脚，分别通过连线与收音机印制电路板相连接，显示模块在关机状态显示时间，开机后显示调谐频率。检修这种故障时，重点是检查显示模块与收音机电路板及相应元件间的连接状况，实践表明，通常以连接线路脱焊、断路较为多见。找到断路点或断路的连线后，只要重新焊接好便可排除故障。 （王德沅）

常用元器件的识别与使用（八）

◎张晓东

神通广大的晶体三极管

晶体三极管简称晶体管或三极管，是一种具有两个PN结的半导体器件。晶体三极管的最大特点是具有电流放大及控制作用，它是在电子线路中被广泛使用的重要电流控制型器件。利用晶体三极管的特性，可以组成放大、振荡、开关等各种功能的电子电路。

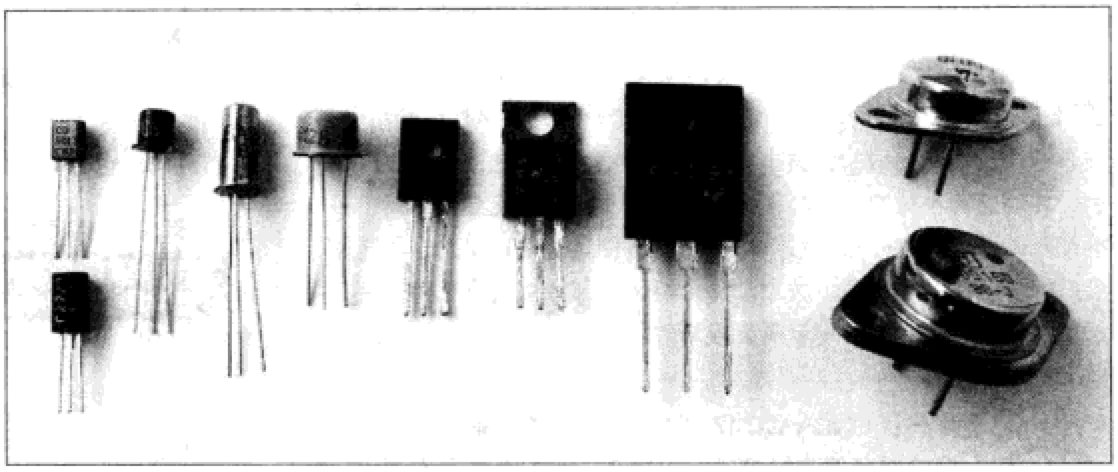


图1 常见晶体三极管的实物外形图

如何识别晶体三极管

将两个PN结巧妙地结合在一起，就组成了神通广大的晶体三极管。由于实际电路的需要，晶体三极管有成千上万种。而在制造晶体三极管时，由于生产厂家、封装材料、工艺和功率大小等等不同原因，使晶体三极管具有各式各样的外貌特征，这往往使初学者感到为难，下面就介绍一些识别常用晶体三极管的常识。

1. 种类和结构

常用晶体三极管的实物外形如图1所示。晶体三极管按制造材料不同，可分为硅管、锗管和化合物管；按PN结组合（即导电极性）不同，可分为PNP型和NPN型两大类；按特征频率不同，可分为超高频管（≥300MHz）、高频管（≥30MHz）、中频管（≥3MHz）和低频管（<3MHz）；按功率大小划分，可分为小功率管（<0.5W）、中功率管（0.5～1W）和大功率管（>1W）；按封装材料不同，可分为塑料封装管、金属壳封装管、玻璃壳封装管和陶瓷环氧封装管等；按用途可分为低频放大管、高频放大管、开关管、低噪声管、高反压管、复合管等。

2. 主要参数

晶体三极管的参数分两类，一类是运用参数，表明管子的各种性能；另一类是极限参数，表明了管子的安全使用范围。在业余制作和使用中，必须了解以下几项参数：

（1）电流放大系数（h_{FE}和β）。这是衡量晶体三极管性能的主要电参数之一。电流放大系数的大小，表示了晶体三极管的放大能力强弱。h_{FE}和β既有区别又关系密切，两个参数值在低频时较接近，在高频时有明显差异。常用小功率三极管的h_{FE}值在20～200。

（2）特征频率（f_T）。这是晶体三极管的另一主要电参数。三极管的电流放大系数β与工作频率有关，工作频率超过一定值时，β值开始下降。当β值下降为1时，所对应的频率即为特征频率，而这时三极管已完全没有了电流放大能力。实际应用中，一般应使三极管工作于5%f_T以下。

（3）穿透电流（I_{ceo}）。这是指晶体三极管的基极开路（不与电路中其他点连接）时，集电极与发射极之间加上反向电压后出现的集电极电流。一般情况下，小功率锗管的穿透电流在几百微安以下，硅管在几微安以下，都是很小的值。穿透电流大的三极管电流损耗大，受环境温度影响严重，工作不稳定。穿透电流是衡量三极管热稳定性的重要参数，它的数值越小，说明管子的热稳定性也越好。

（4）集电极—发射极击穿电压（$V_{(BR)ceo}$）。这是晶体三极管的一项极限参数，是指基极开路时，所允许加在集电极与发射极之间的最大电压。工作电压超过$V_{(BR)ceo}$，三极管将可能被击穿。有的晶体管手册中将（$V_{(BR)ceo}$）用BU_{ceo}表示，两者是完全一样的。实际应用时，一般应使$V_{(BR)ceo}$高于电源电压1倍。

（5）集电极最大允许电流（I_{CM}）。这也是晶体三极管的一项极限参数。晶体三极管工作时，若集电极电流过大会引起β值下降。一般规定，β下降到额定值的1/2或2/3时的集电极电流为集电极最大允许电流，常用I_{CM}表示。实际应用时，集电极电流超过I_{CM}值，三极管不一定会损坏，但放大能力要

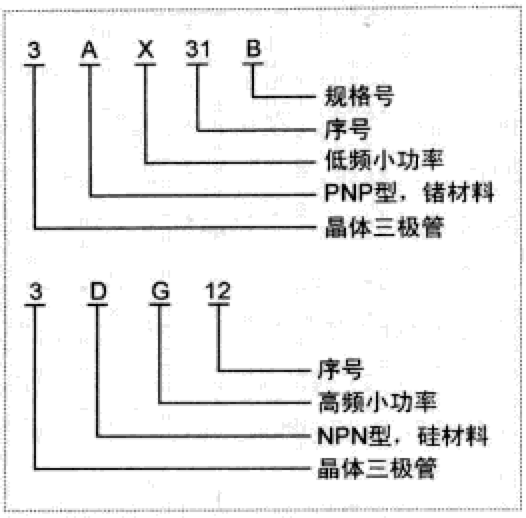


图2 国产晶体三极管型号命名示例

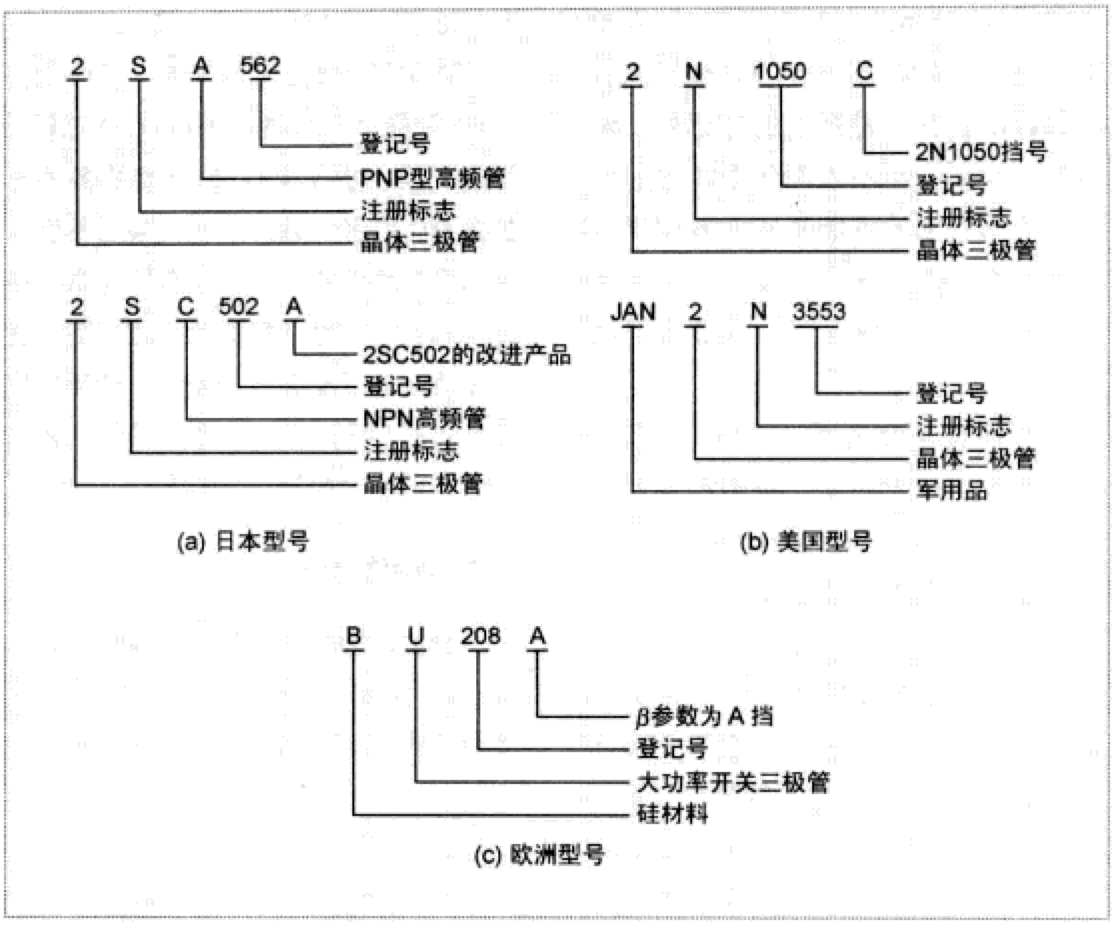


图3 国外晶体三极管型号命名示例

下降。

（6）集电极最大耗散功率（P_{CM}）。也叫集电极最大允许功耗，是晶体三极管的又一项极限参数。晶体三极管工作时，集电极要耗散功率。当耗散功率超出一定限度时，三极管会由于集电结温度过高而烧坏。三极管的集电极最大耗散功率大小是由管子的设计和制造工艺所决定的，用 P_{CM} 表示，其数值大小可从器件性能手册中查到。实际使用时，三极管的集电极实际耗散功率必须小于这个极限值，即“集电极与发射极之间的实际工作电压 U_{ce}× 集电极工作电流 $I_c < P_{CM}$”，否则，那怕是短时间的超出，也会损坏三极管。小功率三极管的 P_{CM} 值在几十到几百毫瓦之间，大功率管在 1W 以上。

晶体三极管还有许多其他参数，若使用条件比较特殊（如高温、高频、高压）时，应注意参照选择。

3. 型号命名规则

（1）国产晶体三极管

国产晶体三极管的型号命名方法与晶体二极管一致，也是规定由5个部分组成（也有省掉第五部分的），如图2所示。其中：第一位用数字“3”表示电极数；第二位用汉语拼音字母表示管子的材料和极性，如A为PNP型锗管、B为NPN型锗管、C为PNP型硅管、D为NPN型硅管；第三位用汉语拼音字母表示管子的类型，它主要是按用途来分类的，如X为低频小功率管、G为高频小功率管、D为低频大功率管、A为高频大功率管、K为开关管、U为光敏管等；第四位（数字）、第五位（汉语拼音字母）分别为产品序号和规格号，表示有关参数的差异，具体可查有关手册。

这里要说明的是，虽然国产晶体管的型号中，字母的含义是用汉语拼音定义的，但读字母时习惯上都读英文字母的发音。

掌握了晶体三极管型号的命名方法后，就能从管子的型号中大体上知道它的性能和应用场合了。例如，当我们看到电路图中某处标注使用国产3DG101型三极管时，就能知道这是一只NPN型小功率高频管，在一般场合，就可以用同类的“3DG”型三极管代换使用。

（2）国外晶体三极管

现在，国内合资企业生产的不少晶体三极管都采用了同类国外产品的型号，应用非常普遍。电子爱好者手中也常有一些从电子产品上拆换下来的国外型号的晶体三极管，在电子制作中可以利用它们。

日本生产的晶体三极管型号都是以“2S”开头的，如图3（a）所示。其中“2”表示具有2个PN结的晶体管，“S”表示属日本电子工业协会（JEIA）注册登记的产品。接在后面的一个字母可以判断管子材料极性和类型，如A为PNP高频管、B为PNP低频管、C为NPN高频管、D为NPN低频管等。字母后面两位以上的数字表示注册登记的顺序号。一般来讲，数字越大，越是近期产品，但并不反映三极管的性能特征。顺序号相邻的两种管子，在特性上可能相差很远。顺序号后若跟有A、B、C字母，表示对原型号的改进产品。

型号以“2N”开头（军用品前面加有字母“JAN”或“J”）的晶体三极管是美国产品或其他国家按美国型号生产的产品，如图3（b）所示。其

中“2”也表示2个PN结，“N”表示美国电子工业协会（EIA）注册标志。后面标出的数字是器件的登记号，没有其他含义，也不表明什么特性。但美国不同厂家的性能基本一致的半导体器件都使用同一个登记号，有时为了区分某些参数的差异，在登记号后缀有字母。

欧洲许多国家命名晶体三极管型号的方法都差不多，特别是参加欧洲共同市场的国家大都使用国际电子联合会的标准半导体分立器件型号命名方法。这种型号命名如图3（c）所示，其特点是直接用字母A、B开头，A表示锗管，B表示硅管。在第二部分字母中，用C表示小功率低频三极管，D表示大功率低频三极管，F表示小功率高频三极管、L表示大功率高频三极管，S表示小功率开关三极管，U表示大功率开关三极管。在第三部分用3位数字表示登记序号。第四部分用字母表示同一型号的管子按某一参数进行分挡的标志。

俄罗斯（前苏联）生产的晶体三极管型号用两个俄文字母或一个数字、一个俄文字母开头。常用的硅三极管型号开头为“кт”或“2т”，而常用锗三极管用“гт”或“1т”开头。型号中的数字在一定范围内有其特定含义，例如，三极管的序列号若在101～199之间，它就是小功率低频管。其他器件序号的具体意义可查阅相关手册。

（3）9000 系列晶体三极管

现在许多业余电子制作及大量电子产品均采用了价廉、性能好的9000系列塑封晶体三极管，因此有必要在这里专门对该系列晶体三极管作一介绍。9000系列塑封晶体三极管国内外许多公司都生产，区别在于前冠字母不同，如TEC9012为日本东芝公司产品，SS9012则是韩国三星公司产品等。国内一些厂家也在生产塑封9000系列管,其前冠字母五花八门。

以前常用的国产3DG6、3DG12、3CG2等晶体三极管，都可用9000系列管来代换。由于9000系列管的各项参数都要比前者优越，所以代换后不但不影响原电路性能，而且还有所提高。不同公司的同型号（仅前冠字母不同）管子在特性上可能有一些差异，使用中应注意。表1列出了9000系列晶体三极管的主要性能参数等，供参考。

4. 外壳标注方法

在国产晶体三极管的管壳上，除了打印它的型号外，有时还可看到印有带颜色的漆点（通常称之为“色点”），这是厂家用色点表示管子h_{FE}（即$\bar{\beta}$）值的挡次标志。工厂在生产晶体三极管的过程中，由于工艺上的原因，较难生产出一批有着相同h_{FE}值的管子。因此必须对晶体三极管检测后进行分类，最方便的办法就是在晶体三极管的管顶上用色点来表示该管的电流放大系数h_{FE}值的挡次，各颜色具体含义见表2所示，识别实例如图4所示。

有些包括9000系列晶体三极管在内的国外晶体三极管，在管子型号后边用一个英文字母来表示h_{FE}值的分挡，其含义见表3所示，识别实例如图5所示。

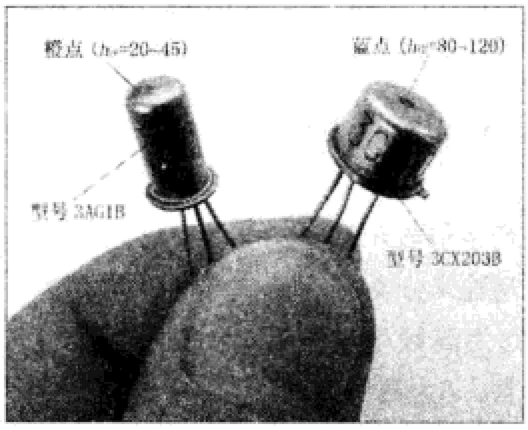


图4 用色标法表示h_{FE}值实例

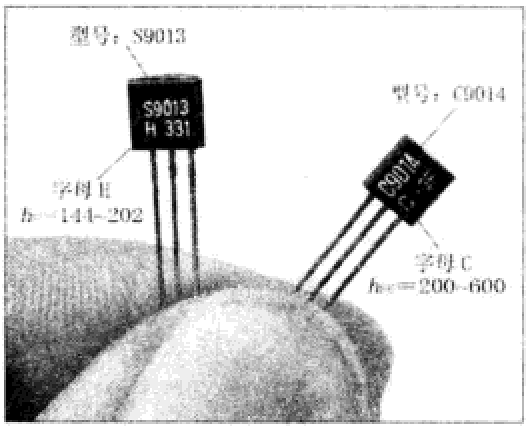


图5 用后缀字母表示h_{FE}值实例

表1 9000系列晶体三极管的特性

型号	极性	集电极最大允许电流 I_{CM}（mA）	集电极最大耗散功率 P_{CM}（mW）	集电极－发射极击穿电压 $V_{(BR)CEO}$（V）	特征频率 f_T（MHz）	用途	可替换型号
9011	NPN	30	200	30	100	高放	3DG6、3DG8、3DG201
9012	PNP	500	625	30	300	功放	3CG2、3CG23
9013	NPN	500	625	30	300	功放	3DG12、3DG130
9014	NPN	100	310	45	200	低放	3DG8
9015	PNP	100	310	45	200	低放	3CG21
9016	NPN	25	200	30	620	超高频	3DG6、3DG8
9018	NPN	50	200	30	800	超高频	3DG80、3DG304、3DG112D

表2 国产小功率晶体三极管色标颜色与h_{FE}值的对应关系

色标	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑	黑橙
hFE（$\bar{\beta}$）	5~15	15~25	25~40	40~55	55~80	80~120	120~180	180~270	270~400	400~600	600~1000

表3　常用国外晶体三极管型号后缀字母与h_{FE}值的对应关系

型号 \ h_{FE} 字母标志	A	B	C	D	E	F	G	H	I
9011、9018				29~44	39~60	54~80	72~108	97~146	132~198
9012、9013				64~91	78~112	96~135	118~161	144~202	180~350
9014、9015	60~150	100~300	200~600	400~1000					
8050、8550		85~160	120~200	160~300					
5551、5401	82~160	150~240	200~395						
BU406	30~45	35~85	75~125	115~200					
2SC2500	140~240	200~330	300~450	420~600					
BC546~BC548、BC556~BC558	110~220	200~450	420~800						

另外，一些小功率晶体三极管的封装管面较小，厂家为了打印型号方便，往往将型号中的共用字符进行了省略。例如：日本产的2SA562、2SD820A等型塑料封装管，就将“2S”省略，在管壳上只打印出简化型号A562、D820A，实际应用时一定要注意这一特点。

5. 引脚识别方法

晶体三极管在使用时，各引脚线的极性绝对不能认错，否则必然导致制作的失败，甚至损毁元器件。图6标出了几种常见三极管的各极引脚线位置。对于常用的国产金属外壳封装的小功率晶体三极管（图中左边的2个管子），其引脚识别方法：将管脚朝上，等腰三角形底边（距离较宽的一边）对自己，三角形顶点朝外，则左边引脚是发射极e，右边引脚是集电极c，中间引脚是基极b（口诀是：管脚朝上头朝下，缺口对自己，左“发”、右“集”、中间“基”）。国产塑封小功率晶体三极管（图中中间的管子），其3个引线脚呈“一字形”排列，面对标有型号的一面，从左到右分别是发射极e、基极b和集电极c。塑封且带散热片的中、大功率晶体三极管（图中右2管子）有所不同，从左到右分别是基极b、集电极c和发射极e，并且中间的集电极c与散热片是相通的。一些金属封装的大功率晶体三极管只有两根引线脚（图中最右边的管子），它的外壳就是第3根引脚——集电极c。

遇到其他我们不熟悉的封装和引脚线形式时，要查阅有关资料或用万用表检测辨认后再接入电路。

日本产的塑料小功率晶体三极管，如果型号后面标有字母“R”，则说明其管脚排列与普通管子正好相反。另外，有些常用集成电路仅有3个引脚，例如固定三端集成稳压器78L05、LM7812等，它们的封装外形与晶体三极管是一样的，不要误认为是国外生产的晶体三极管。

如何测量晶体三极管

电子制作中常要检查晶体三极管的好坏，业余爱好者手中还常会有一些不明型号的三极管，需要辨别它们的种类和性能。这里介绍使用万用电表进行检测的方法。这些测试虽然不精确，但在业余电子制作中却是很实用的。

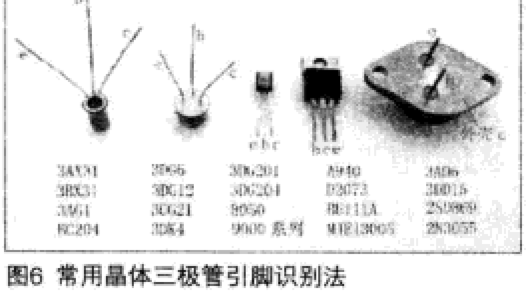


图6 常用晶体三极管引脚识别法

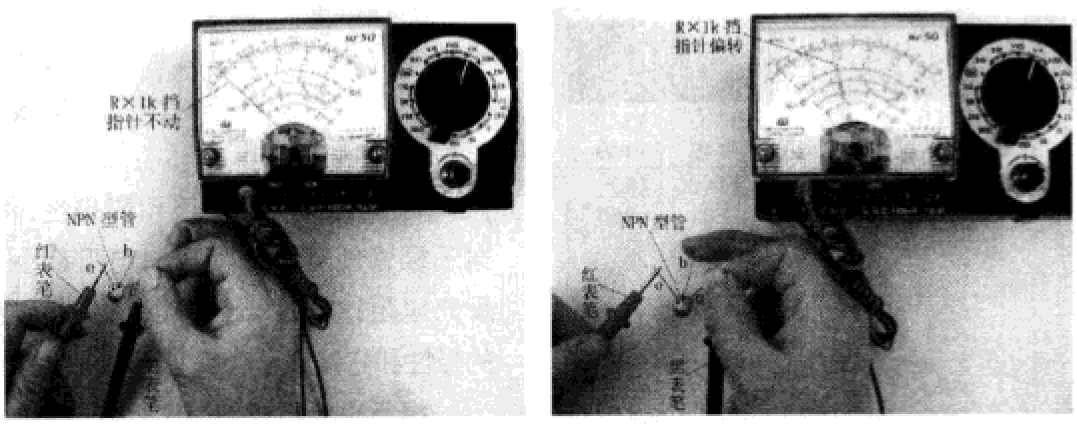
1. 判断管子类型及引脚极性。根据三极管任意两极间正向电阻都小于反向电阻这个性质，可以判断各引脚的极性和它是属于PNP型还是NPN型。

将万用电表拨到“R×1k”挡。先假定任意一根管脚为“基极”，用红表笔接这根“基极”，黑表笔分别去接触另两根引脚，如果测得的都是低阻值，那么红表笔所接的就确实是基极b，而且三极管是PNP型的。如果测得结果都是高阻值，那么这只三极管是NPN型的。

在上述测量中，若假定的“基极”与另两只引脚间的电阻一次是低阻值，而另一次是高阻值，那么原来假定的“基极”是错的，要假定另一根引脚为“基极”再测试，直到满足要求为止。

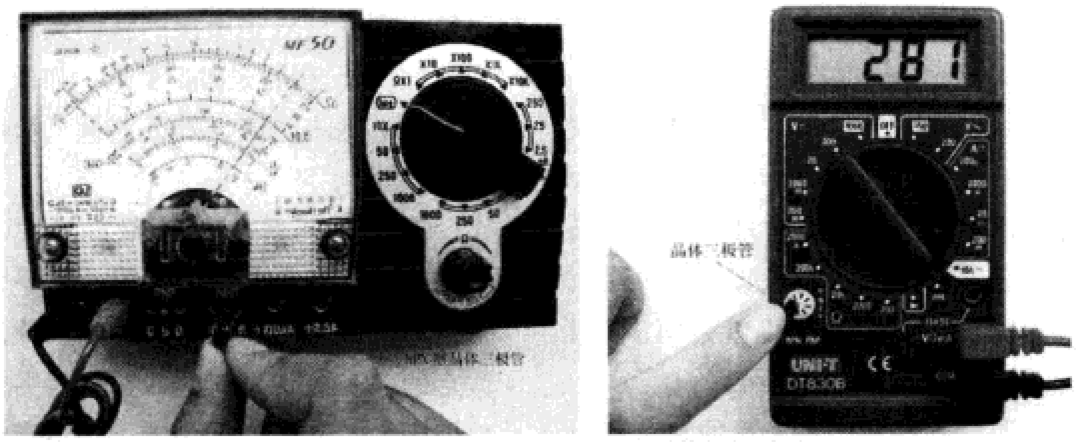
下一步确定发射极e与集电极c，方法如图7所示。图中以NPN型三极管为例，先用黑表笔接假定的“集电极”，红表笔接假定的“发射极”，然后用右手蘸一点水，用拇指和食指捏住黑表笔和“集电极”，用中指接触已知的基极b。这相当于通过手的电阻给三极管加入基极电流，使三极管导通。这时万用电表指针会偏转，记下它的偏转角度。再假定另一引线为“集电极”，作同样的测试，也记住指针偏转角度。比较两次指针偏转情况，指针偏转大的那一次假定是正确的，其黑表笔接触的是集电极c。如果检测的是PNP型管，只要将红、黑两表笔对换一下（红表笔连“集电极”），仍可照上述方法检测判断。

如果所用万用表具有专门测量晶体三极管电流放大系数的插孔（如MF50、BT830B型万用表），则上面判断发射极e与集电极c的过程可改在插



（a）接好表笔　（b）手触基极

图7 晶体三极管的管脚判别法



（a）用指针式万用表　（b）用数字式万用表

图8 晶体三极管hFE值的测量

孔内进行，简单而快捷。

2. 判断是高频管还是低频管。用万用电表测量三极管发射结的反向电阻。测 NPN 管时，用黑表笔接发射极，红表笔接基极，测 PNP 管时，要对调表笔。

先用“R×1k”挡测，指针偏转应很小，一般不超过满度的十分之一。再改用“R×10k”挡测，如果指针偏转的角度变化不大，说明这只管子是低频管。若改用“R×10k”挡后指针偏转明显变大，那么所测管子可能是高频管。

3. 判断是硅管还是锗管。硅管的发射结与集电结正、反向电阻都比锗管相应阻值大，我们可以用万用表的“R×1k”挡测试判断。通常发射结(e、b两极间）和集电结（c、b两极间）的正向电阻，硅管为3～10kΩ，锗管在500～1000Ω，两结的反向电阻，硅管大于500kΩ，锗管在100kΩ左右。

由于不同万用表的内阻及电池不同，同一只晶体三极管用不同万用表的测试结果也不尽相同，但因两种三极管阻值相差很大，这种辨别方法还是比较准确的。

4. 粗略判断管子的质量。将万用电表拨到“R×100”或“R×1k”挡。对于NPN型三极管，将黑表笔接集电极，红表笔接发射极，测PNP型三极管时，表笔要对调。这时万用表指示的电阻值越大，说明三极管穿透电流越小。对小功率硅管阻值应在几百千欧以上，甚至看不出指针偏转，对小功率锗管应在几十千欧以上。如果测量显示的阻值很小，且指针缓慢地向低阻方向移动，表明三极管穿透电流大且稳定性差。如果测得的阻值接近于零，表明三极管已经击穿损坏。但有些大功率三极管的穿透电流参数定得较大，测得电阻仅几十欧姆，这是正常的。

5. 测量管子的h_{FE}值。常用的万用表均设有专门测量晶体三极管电流放大系数的插孔及对应挡位，可以很方便地测量出小功率晶体三极管的直流放大系数h_{FE}。其测出的数据不是十分准确，但在业余制作中还是很有用的。

图8（a）是采用MF50型指针式万用表测量h_{FE}的示意图。测量前，应先把万用表的挡位选择开关旋转到“Ω×1k”挡，并通过“Ω”调零旋钮（红、黑表笔必须相接）将指针调在0Ω位置，然后，再把挡位选择开关旋转到“h_{FE}”挡，把小功率晶体三极管的3个引脚——发射极e、基极b、集电极c，分别插入万用表上的对应e、b、c插孔内，这时从刻度盘上的hFE刻度线上即可读出h_{FE}的大小。但要注意，该万用表测量h_{FE}的范围为0~200，并且PNP型和NPN型管子的刻度线是独立的，不可读错。

图8（b）是采用DT830B型数字式万用表测量h_{FE}的示意图。测量时，应先把万用表的挡位选择开关旋至“h_{FE}”挡，将PNP或NPN小功率晶体三极管的3个引脚——发射极e、基极b、集电极c，分别插在对应的插孔内，液晶屏会直接显示出被测晶体三极管的直流放大系数h_{FE}。测量时万用表所提供的测试直流电压约为2.8V，基极电流约为10μA，可测量出的h_{FE}范围为0～1000。图中所示是测量9013型（NPN管）晶体三极管时的情形，所测得的该管直流放大系数h_{FE}＝281。

学 | 做 | 用

◎张晓东

做个“会叫”的生肖老虎来贺岁

按照中华民族传统的十二生肖纪年习俗，2010年（即农历庚寅年）是虎年。在虎年到来之际，各种造型的漂亮毛布绒“小老虎”大量应市，深受人们的喜爱！

如果动手在这种“小老虎”的身体内安装上下面介绍的电子模拟发声装置，则会使其更加逗人喜爱：每当用手拍打可爱的“小老虎”时，它便会发出逼真响亮的模拟小老虎叫声来，十分有趣！将这种会叫的“小老虎”作为新年礼物送给小朋友，肯定会使童心大悦！

一、工作原理

会叫的“小老虎”电路如图1所示。它主要采用了模拟虎叫声专用集成电路A，所产生的虎叫声十分逼真，可达到以假乱真的地步。

平时，振动开关SQ处于“断开”状态，模拟声集成电路A的正脉冲触发端TG处于“0”电平（悬空），A内部电路不工作，晶体三极管VT截止，扬声器B无声。此时整个电路耗电甚微，实测仅0.8μA左右，这也是电路未设置电源开关的原因。

当用手拍打“小老虎”时，振动开关SQ断续接通，使模拟声集成电路A的触发端TG获得正脉冲触发信号，A内部电路受触发工作，从其输出端OUT输出内储的模拟虎叫声电信号，经晶体三极管VT功率放大后，推动扬声器B发声。在非发声状态下，SQ每受振动接通一次，B会连续发出三遍虎叫声，时间约6s。

电路中，R为模拟声集成电路A的外接振荡电阻器，其阻值大小影响模拟虎叫声的速度和音调。C为旁路电容器，主要用于滤去模拟声集成电路A输出电信号中一些不悦耳的谐波成分，使虎叫声更加清晰响亮。

二、元器件选择

该制作共用了7个电子元器件，除振动开关SQ需要自制外，其余元器件可对照图2所示的实物集体照进行选购。

A选用HFC520型模拟虎叫声集成电路，它采用软包封装形式制作在尺

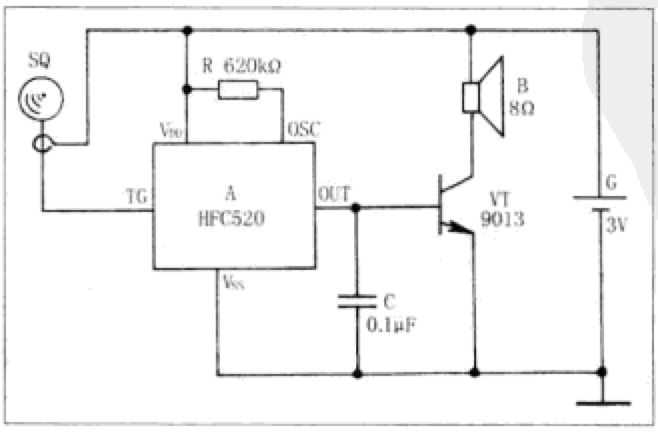


图1 会叫的“小老虎”电路图

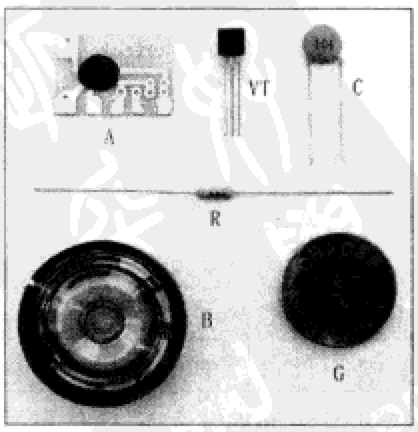


图2 需要选购的元器件实物外形图

寸仅为20mm×14mm的小印制电路板上，并给有外围元件焊接脚孔，使用很方便。HFC520的主要参数：工作电压范围2.4~5V，音频输出电流≤1mA，静态总电流<1μA，工作温度范围－10℃~60℃。

晶体管VT选用9013（集电极最大允许电流I_{CM}=0.5A，集电极最大允许功耗P_{CM}=625mW）或3DG12、3DX201、3DK4型硅NPN中功率三极管，要求电流放大系数β＞100。

C用CT1型低频瓷介电容器。R用RTX-1/8W型碳膜电阻器。B用φ27mm×9mm、8Ω、0.25W超薄微型动圈式扬声器，以减小体积，方便安装。

G选用1粒CR2032型（电压3V、体积φ20mm×3.2mm）钮扣式电池，电压3V。CR2032型钮扣式电池广泛应用于电脑主板、计算器和电子词典等电子产品中，在一般的电子器材商店、电脑服务部和学习用品商店等均可购买到，每粒售价1~2元。

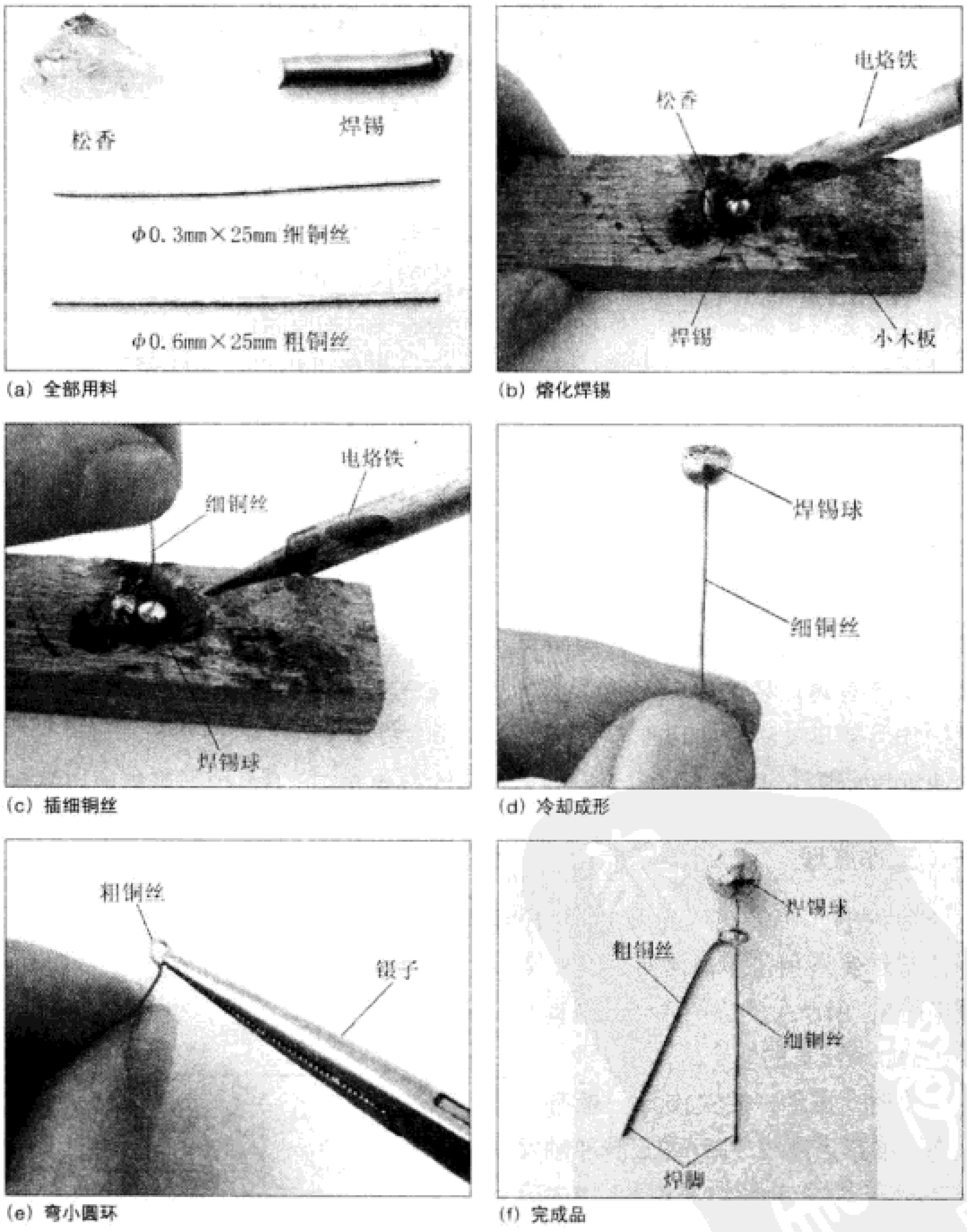
三、制作方法

整个会叫的“小老虎”的制作过程，可分为自制振动开关SQ、给电池G加装引线、焊装电路机芯和总体组装四大步骤来完成，现分步介绍如下：

第1步

按图3所示自制振动开关SQ。具体方法：首先，按图3（a）所示，准备一根φ0.3mm×25mm左右的具有一定弹性的细铜丝（笔者用的是剥掉塑料外皮的电话电缆线头，效果不错），再准备一根φ0.6mm×25mm左右的具有一定硬度的粗铜丝，另准备一小粒松香和适量焊锡。然后，按照图3（b）所示，将松香粒和焊锡放在一块小木板上用电烙铁加热，待焊锡在熔化的松香中间呈现φ5mm左右圆球形时，一边移掉电烙铁，一边按照图3（c）所示乘球体尚未冷却凝固时插入已准备好的细铜丝，保持手不抖动，待数秒钟后焊锡球完全冷却凝固后，即获得图3（d）所示的焊锡球杆。如果焊锡球的直径远达不到5mm，可补充焊锡量，重复上述过程，直到符合要求为止。然后，按照图3（e）所示，用镊子在已准备好的粗铜丝一端弯出一个φ2mm左右的圆环，套在焊锡球杆上，即制成图3（f）所示的振动开关SQ。

这种振动开关的制作方法，是笔者经过长期的反复实践摸索出来的，其最大特点是简单实用、灵敏度高，它可以作为廉价的振动传感器，应用到各种业余电子制作电路中去。



（a）全部用料 （b）熔化焊锡 （c）插细铜丝 （d）冷却成形 （e）弯小圆环 （f）完成品

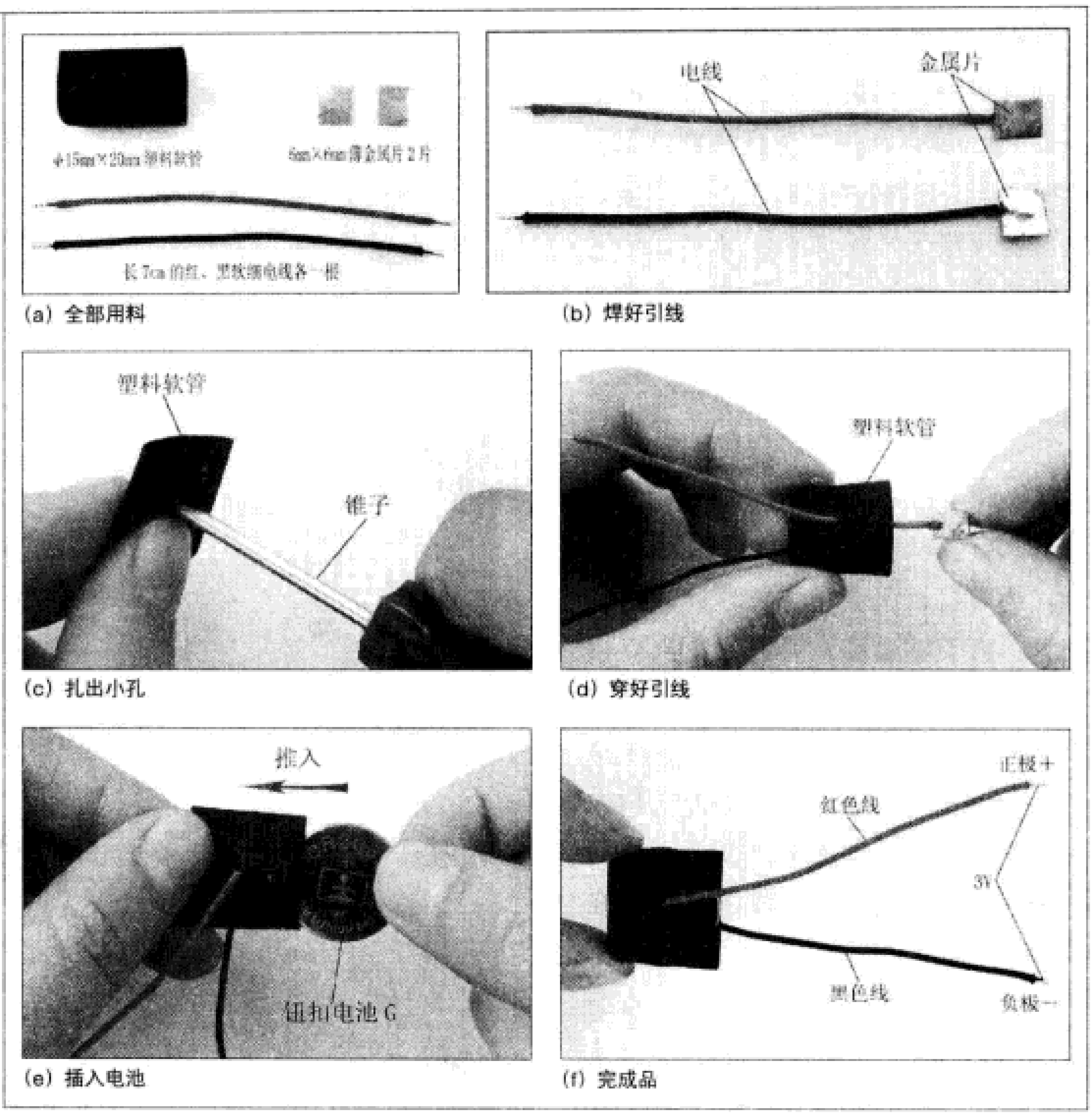
图3 自制振动开关SQ

第2步

按图4所示给钮扣电池G加装引线。首先，按照图4（a）所示，准备好一段φ15mm×20mm的具有一定伸缩性的塑料软管，另准备长度为7cm左右的红色和黑色塑料外皮软细焊接电线各一根、6mm×6mm见方的薄金属片2片。然后，按照图4（b）所示，将2片薄金属片分别焊接在红色和黑色焊接线的一端，按照图4（c）所示，将塑料软管压扁，在中间位置用锥子一次扎透两个小孔，按照图4（d）所示在塑料软管所扎出的两个小孔中，由内向外分别穿出红色和黑色焊接线。最后，按照图4（e）所示，将所用的CR2032型钮扣式电池插入塑料软管内，要求电池的正极（有字面，并标有“+”符号）紧密接触红色焊接线上的金属片、负极紧密接触黑色焊接线上的金属片，并且两金属片均居于电池正、负极的中央位置处，谨防在插入过程中黑色焊接线上的金属片在钮扣电池G的边沿处接通正、负两极（即造成电池短路！）。这样，就制作成了图4（f）所示的带引线的钮扣电池，其红色引线为电池正极、黑色引线为电池负极，电池电压为3V。

这里需要提醒读者注意的是，为了避免电池引线头无意间相碰而造成短路故障，在焊入电路前应将电池的引线头暂时用绝缘胶布包裹起来。另外，钮扣电池G的外壳是用薄钢片冲压制成的，密封性很高，切不可用电烙铁往电池电极上直接焊导线，尤其是焊接时间过长，内部液体就会膨胀产生高气压，很容易把电池崩裂，酿成严重事故！

这里介绍的给钮扣电池加装引线的方法，是笔者反复实验成功的，简单实用，更换电池也比较方便。读者千万不可自作聪明省掉这一制作工序，而试图用电线将电池直接焊接到电路中去。



(a) 全部用料 (b) 焊好引线 (c) 扎出小孔 (d) 穿好引线 (e) 插入电池 (f) 完成品

图4 给钮扣电池G加装引线

第3步

进行电路机芯的焊装。整个电路按图5给出的接线图，以模拟声集成电路A的芯片为基板进行焊接，不必另外再设计制作印制电路板。焊接时注意：电烙铁外壳一定要良好接地，以免交流感应电压击穿A内部CMOS集

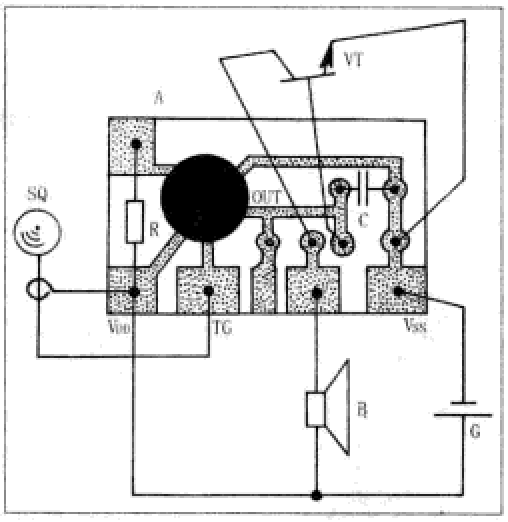


图5 会叫的“小老虎”电路接线图

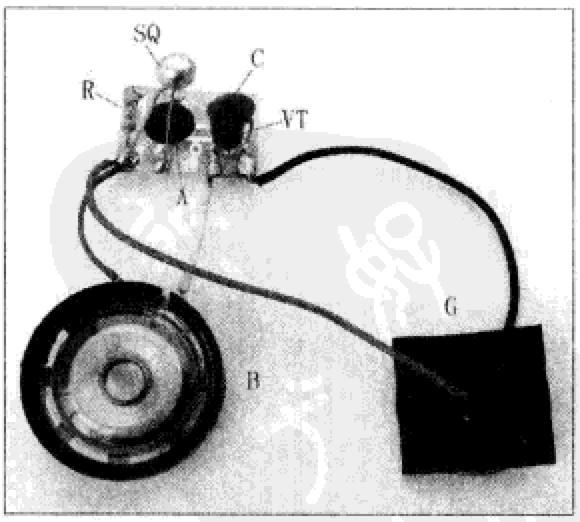


图6 焊接好的电路

成电路！焊接好的实物接线图如图6所示。读者特别要留意的是，自制振动开关SQ的铜环和弹性球杆是直接焊在模拟声集成电路A的芯片上的，焊接好后需要用镊子仔细调整铜环与球杆的相对位置，使球杆居铜环圆心位置，才能获得满意的振动触发灵敏度。

焊接好的电路，一般不用任何调试便可满意工作。用小螺丝刀敲打模拟声集成电路A的小印制电路板，扬声器B即会连续发出三遍虎叫声，时间约6s。再敲打，又会再次发声。如嫌模拟虎叫声不够逼真，可通过适当变换电阻器R的阻值来加以调节。R取值范围为560kΩ~1MΩ。R阻值大，模拟虎叫声频率低、音速慢，好像一只大老虎在吼叫，阻值小时，频率高、音速快，则仿佛是一只可爱的小老虎在叫。如果扬声器B仅发出自激振荡声，只要在模拟声集成电路A的电源两端跨接一只100μF、10V的电解电容器（正极接VDD、负极接VSS），便可以排除故障。如果振动触发灵敏度不够，只要用镊子将振动开关SQ的铜环直径调小一些，便可解决问题。

为了扬声器B发声响亮，为了在使用中不人为触碰而改变已调好方位的振动开关SQ等，都需要按图7所示将电路装入一个密闭的小盒内。具体方法：首先，按图7（a）所示，选择两个尺寸为φ31mm×20mm的塑料瓶盖（笔者选用的是空药瓶的塑料盖，挺合适）。然后，按图7（b）所示，用电烙铁头在其中一个塑料盖上烫出5个φ5mm的小圆孔，作为扬声器B的释音孔，并按图7（c）所示，用美工刀或平头小刻刀修平整凸出的孔沿，尤其是盖内孔沿，不允许有任何的凸起或不平整，以免安装扬声器B后顶住发音振动盆膜，严重影响发声，另按图7（d）所示，在同一塑料盖的口沿上用美工刀切割一个能够通过两根细电

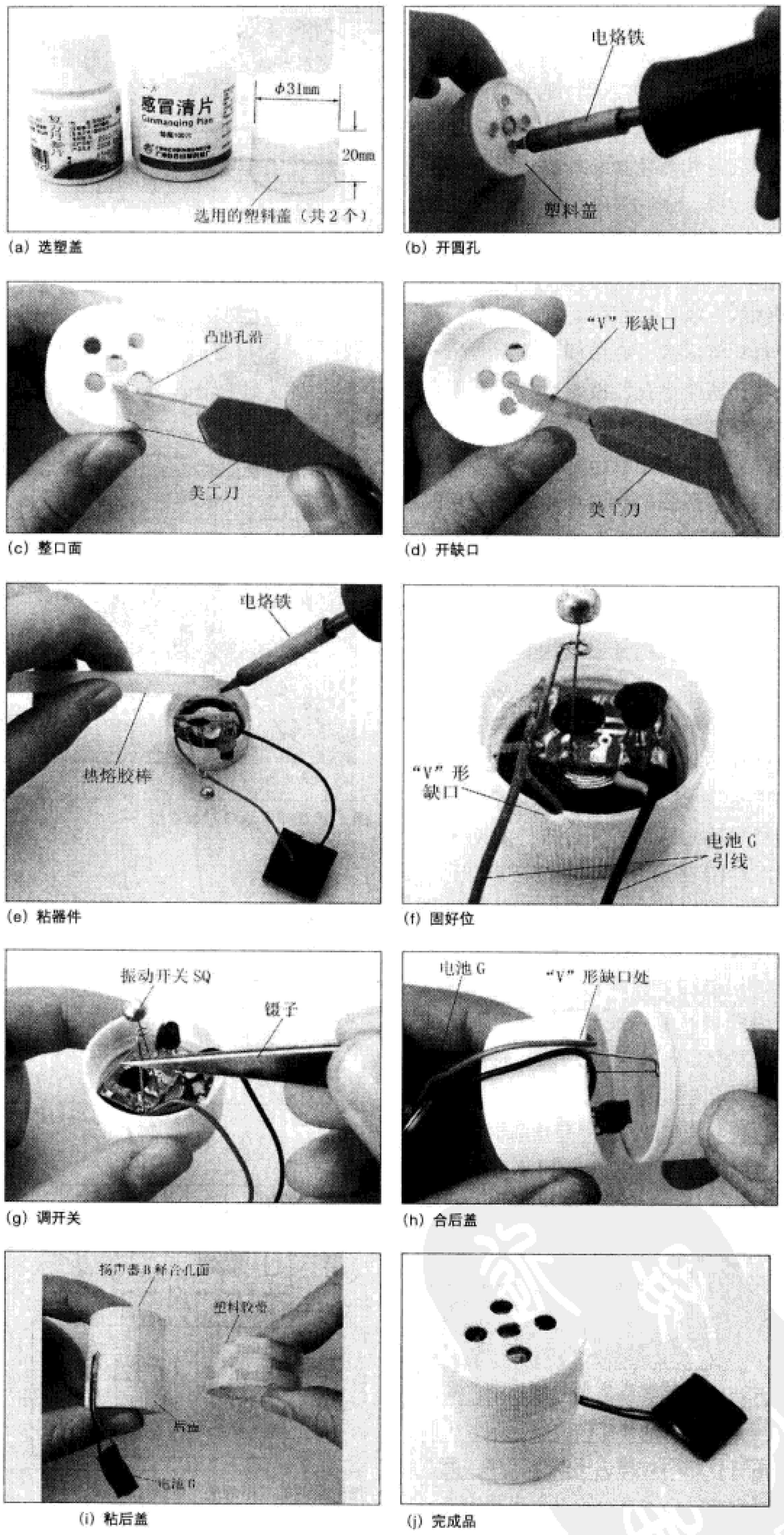
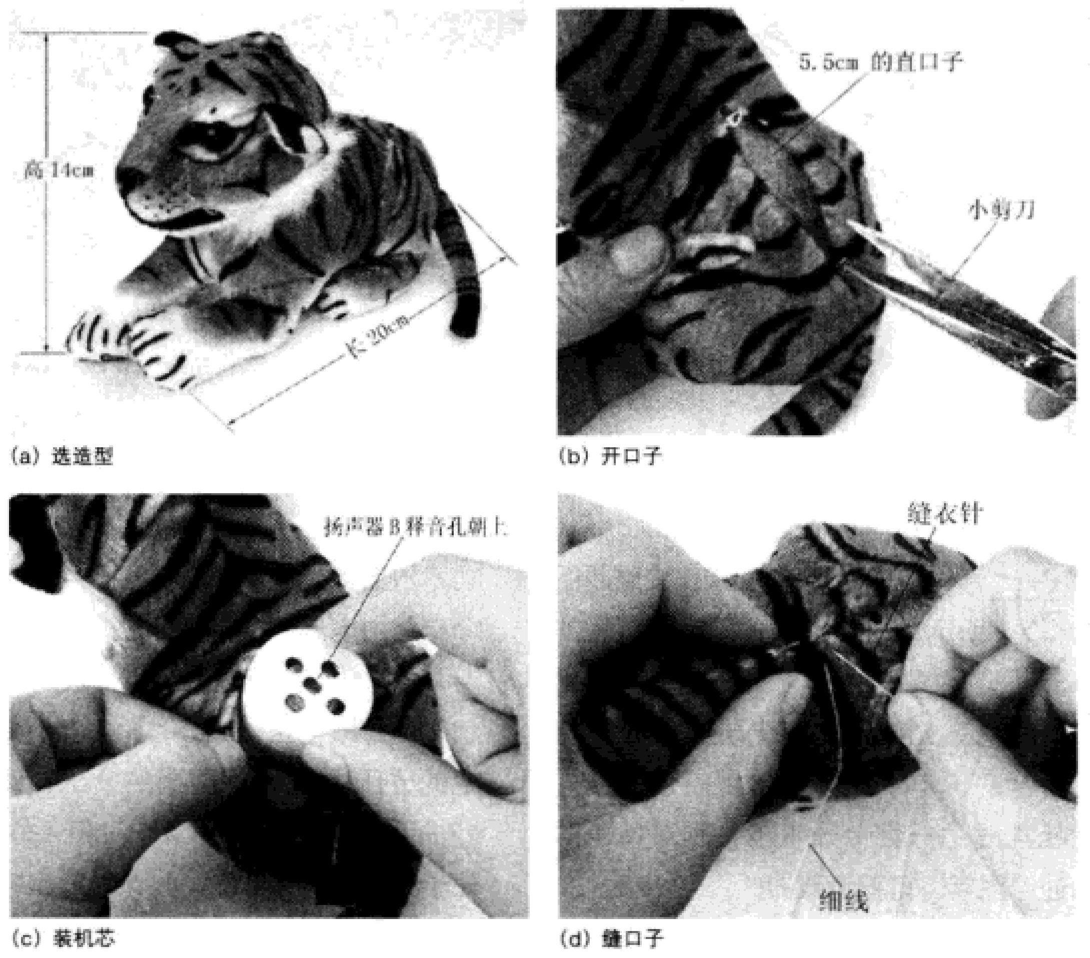


图7 将电路装入机壳

池引线的“V”形缺口。最后，按照图7（e）所示，采用电烙铁直接加热熔化热熔胶棒的简便方法，将扬声器B用热熔胶（也可用强力胶）粘固在开有释音孔的塑料盖内（可在扬声器B的圆外边与塑料盖紧挨的缝隙处，选3～4处位置滴上熔化了的热熔胶即行），将模拟声集成电路A的小印制电路板粘贴在扬声器B的后底座上，粘好的电路如图7（f）所示，并再次检查振动开关SQ的球杆是否居于铜环的圆心位置，并按图7（g）所示，用镊子仔细调整铜环与球杆间的相对位置，使球杆居于铜环正中心位置——这一点对制作成功非常关键！接着按图7（h）所示，将钮扣电池G的引线放入塑料盖事先所开好的“V”形缺口处，将另外一个塑料盖“口对口”合在装有电路的塑料盖上，外面合缝处按图7（i）所示用塑料胶带缠绕粘紧，即完成图7（j）所示的成品。

第4步

进行总体组装。其主要工作是将焊装好的电路机芯，装入市售毛布绒“小老虎”的身体内。具体方法：首先，按照图8(a)所示，选购一个大小合适（身高以14cm左右、身长以20cm左右为宜）、造型漂亮的毛布绒“小老虎”。然后，在“小老虎”身体背部的适当位置处用小剪刀挑断合缝针线，开出长约5.5cm的直口子；将“小老虎”体内的填充物去掉少许，以腾出空间安放电路机芯。最后，按照图8（c）所示，将图7（j）所示的电路机芯通过开口装入“小老虎”体内，注意扬声器B的释音孔应紧贴“小老虎”背部的绒布，以便对外良好放音。接着穿针引线，按照图8(d)所示，将“小老虎”背部的开口用针线缝好即可。对于有条件的读者，为了以后更换钮扣电池G方便，可在开口处用针线缝上一根隐形小拉链。



(a) 选造型 (b) 开口子 (c) 装机芯 (d) 缝口子

图8 组装会叫的“小老虎”

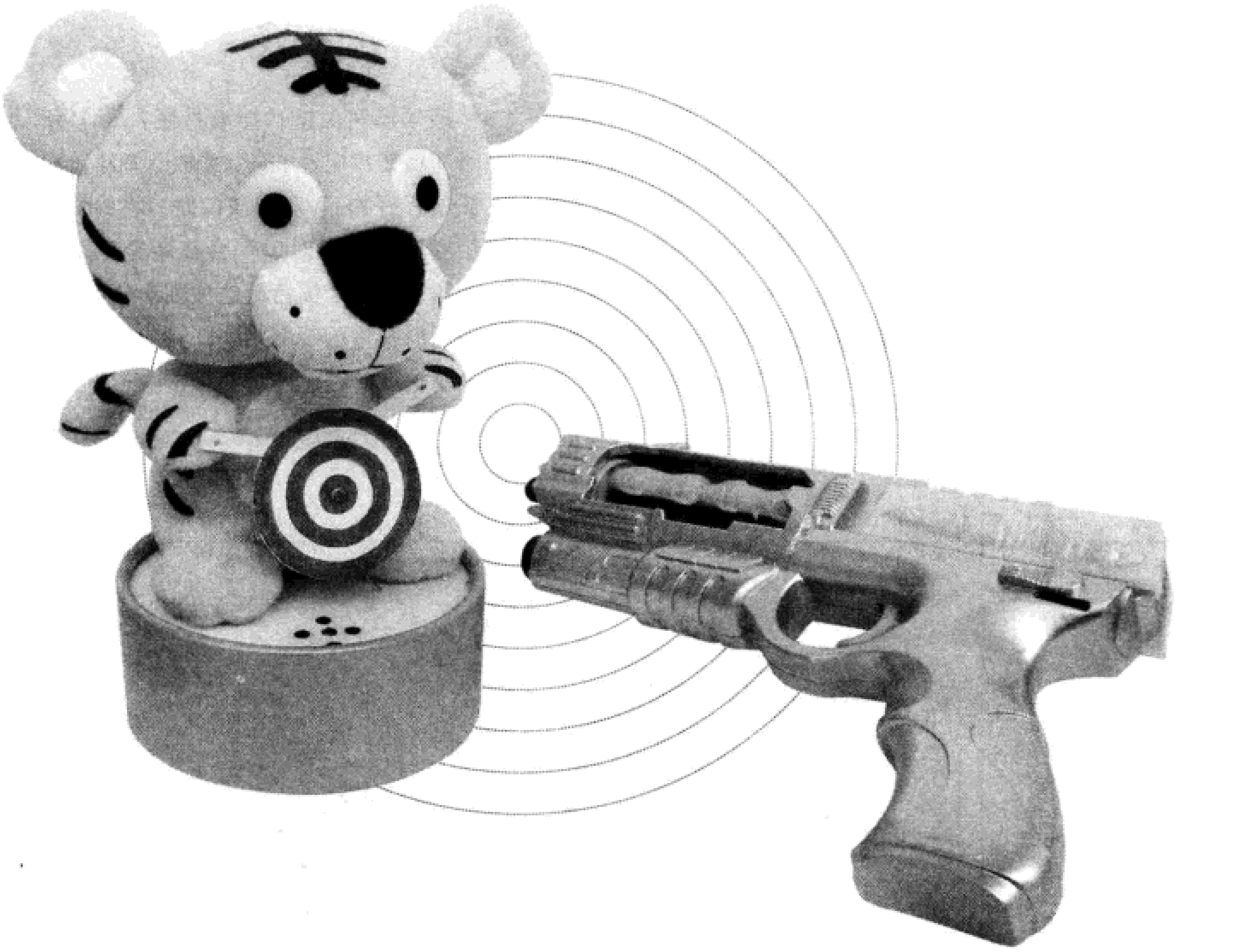
至此，一件出自个人之手、浸住了个人心血和充满对虎年期盼之情的电子作品终于顺利完成！相信这个“小老虎”的问世，一定会给你的家人带来新年的欢乐，为居室增添浓郁的祥和气氛！

新书讯

《一周一个电子制作》出版发行

电子科普作者张晓东所著的《一周一个电子制作》图书日前在北京正式出版，全国公开发行，各地书店有售。

这本书是作者奉献给广大电子制作爱好者，尤其是中小学、职业类学校电子班师生的又一本实用电子制作技术图书。全书16开本，180页，26.7万字，定价20元。该书风格独特、富有创意，它以2010年的时间为序，每周向读者介绍一个可以完成电子小制作，共介绍了53个生动有趣、制作容易、实用性强、性能优良的制作实例。这些制作的功能和用途与一年四季的春夏秋冬、有关节日、纪念日等密切相关，不仅具有新颖性、实用性、趣味性、启迪性，而且许多制作还包含有鲜明的思想性——通过动手制作和实际使用，潜移默化地宣传了有关节能环保、关爱生灵、安全保健等世界先进理念。一些制作可供有关企业直接开发出富有“生命力”的新产品。



学做用

迎虎年趣味打靶游戏器

◎张晓东

新春佳节即将到来之际，按照题图所示，将市售的一只活泼可爱的卡通造型“小老虎”、一把带有可发射红色激光射线的声光玩具手枪，与自制的“电子靶”巧妙地组合起来，就构成了一套十分有趣、别具特色的迎“虎年”打靶游戏器。

每当有人用玩具手枪发射出的红色激光束射中“小老虎”看管的“电子靶”的靶中央时，“小老虎”会奏响一曲世界名曲，以示“中靶”祝贺！

一、工作原理

迎“虎年”打靶游戏器由“小老虎”看管的“电子靶”和激光玩具手枪两大部分构成。“电子靶”的电路如图1所示。光敏电阻器RL与电阻器R1组成光控触发电路，12曲音乐集成电路A与外围元器件组成音响发生器，其中：R2、C分别为12曲音乐集成电路A的外接振荡电阻器和电容器，其阻值大小影响音乐声的速度和音调，VT为功率放大晶体三极管，B为扬声器。整个电路由电池G供电。

平时，光敏电阻器RL呈较高电阻状态，它跟电阻器R1串联后对电池G产生的分压远大于R1两端的分压，使得12曲音乐集成电路A的正脉冲触发端TG处于低电平（<$1/2V_{DD}$），集成电路内部电路不工作，晶体三极管VT截止，扬声器B无声。此时整个电路耗电甚微，实测仅数十微安，这也是电路未设置电源开关的原因。

当光敏电阻器RL被激光枪射中时，强烈的激光束使其阻值瞬间变小，导致其两端电压显著降低，而电阻器R1两端的电压显著升高，使得12曲音乐集成电路A的触发端TG获得正脉冲（≥$1/2V_{DD}$），触发集成电路内部电路工作，即从输出端OUT输出一曲长达6～24s的世界名曲主旋律电信号，经晶体三极管VT功率放大后，推动扬声器B发出优美动听的乐曲。放音结束后，电路恢复静止状态，这时便可进行第二次射击了。

发射红色激光束的市售声光玩具手枪（简称“激光枪”），其内部电路大致如图2所示。它由红色激光发射头（包括光学透镜、激光二极管、限流电阻器或恒流电路等）、模拟声电

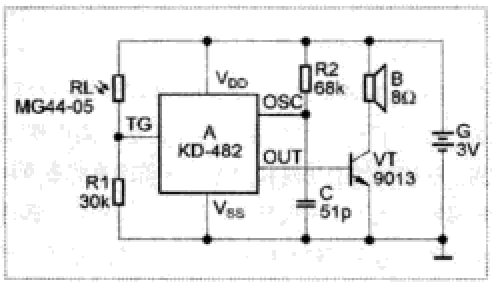


图1 “电子靶”的电路图

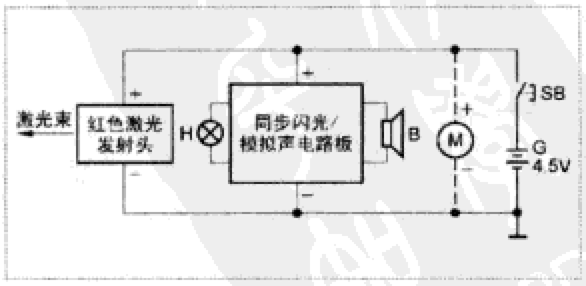


图2 “激光枪”基本电路图

路、同步闪光电路三部分组成。每当扣动枪扳机时，自复位开关SB接通，在红色激光发射头通电向外发射出波长为630～680nm、输出功率不超过3mW的红色可见激光束的同时，模拟声集成电路和扬声器等构成的音响电路发出模拟枪炮声和冲锋战士的呼喊声，小电珠H则发出同步闪烁光，有的电路还接有直流小电动机M，以带动枪栓等动作，从而产生集激光瞄准、声音、同步闪光、动作等融为一体的逼真“开枪”效果。由于该玩具手枪是购买的市售产品，所以笔者仅对其电路特点作此简要说明。

二、元器件选择

制作“电子靶”所用的元器件实物集体照如图3所示，购买费用一般超不过8元。

A选用KD-482型12曲音乐集成电路，它采用黑膏封装在一块尺寸仅为20.5mm×18mm的小印制电路板上，并留有外围元器件焊接插孔，使用很方便。KD-482的主要参数：典型工作电压3V，音频输出电流≤2mA，静态总电流＜2μA，工作温度范围-10～60℃。KD-482也可用ML-03、CW2850-12K等12曲音乐集成电路芯片来直接代换，只是芯片接法略有不同，但外围元件及参数均不需改动。

如果手头暂无12曲音乐集成电路，也可用常见的单首曲音乐集成电路来代替，只是所产生的乐曲易使人产生单调感。代换时注意：读者只要有音乐集成电路，一般来讲不论型号、外形如何，只要分清楚电源正极（VDD端）、电源负极（VSS端）、外接振荡电阻器和电容器的公共接线端OSC（由于大部分单曲音乐集成电路不需要外接振荡电阻器和电容器，所以也就没有该接线端）、音频输出端OUT（接功率放大晶体三极管的基极）和高电平触发端TG，均可直接接入电路代换12曲音乐集成电路。

晶体管VT可用9013（集电极最大允许电流I_{CM}=0.5A，集电极最大允许功耗P_{CM}=625mW）或3DX201、3DG12、3DK4型硅NPN中功率三极管，要求电流放大系数β＞100。

RL宜选用MG44-05型塑料树脂封装光敏电阻器，也可用其他亮阻≤20kΩ（在100lx的光照度下测试）、暗阻≥5MΩ的普通光敏电阻器来直接代替。R1、R2均用RTX-1/8W型碳膜电阻器。C用CC1型瓷介电容器。

B用ϕ29mm×9mm、8Ω、0.25W微型动圈式扬声器。G用两节5号干电池串联（配带塑料电池架）而成，电压3V。

可发射红色激光射线的声光玩具手枪，参考图4所示的实物照进行选购。笔者专门调查了一下市场，现在这类玩具手枪外形种类很多，但内部电路几乎完全一样，每把售价在10～20元。由于一般红色激光发射头的工作电压必须大于3V，所以这类玩具手枪有一个共同特点，那就是他们均使用3节5号（或7号）干电池串联（4.5V）供电。而普通的音乐玩具手枪一般多采用两节干电池（3V）供电。

如果读者一时购买不到合适的玩具手枪，不妨购买一把图5所示的只有数元钱的普通“激光笔”来代用，效果不错。如果读者有更大的兴趣，也可购买一把3节干电池供电的普通声光玩具枪，参考图2所示的电路和图4所示的结构图，将激光笔的发射头拆下来，加装到普通声光玩具枪的枪头部位，即制成所需要的玩具手枪。这里要特别强调的是，请不要用激光束正对着自己或者他人的眼睛，以免造成伤害！

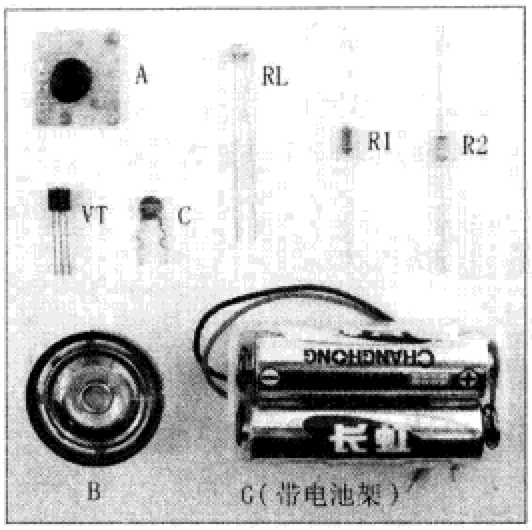
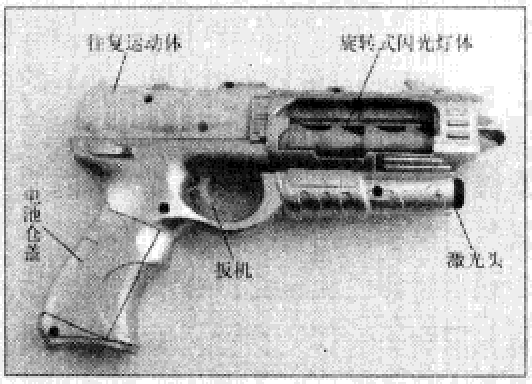
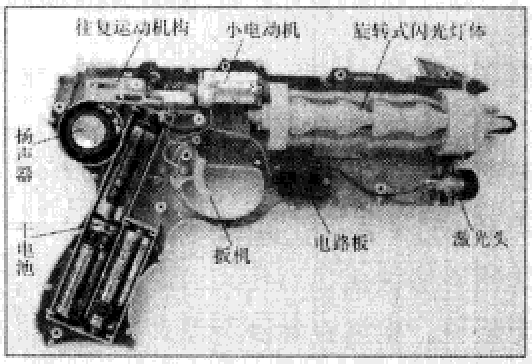


图3 “电子靶”所用元器件实物外形图

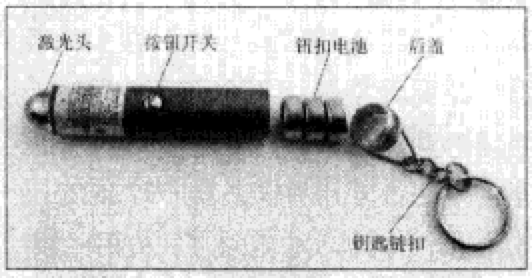


(a) 外形图



(b) 内部图

图4 本文所用玩具手枪的结构



(a) 外形图

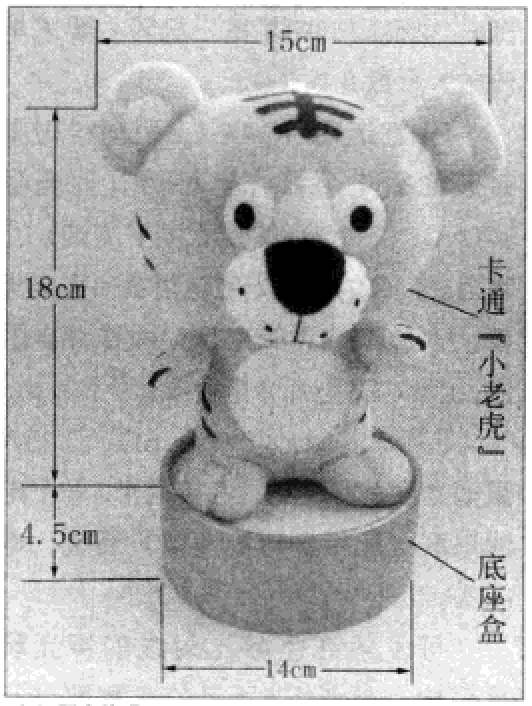
(b) 使用图

图5 市售“激光笔”

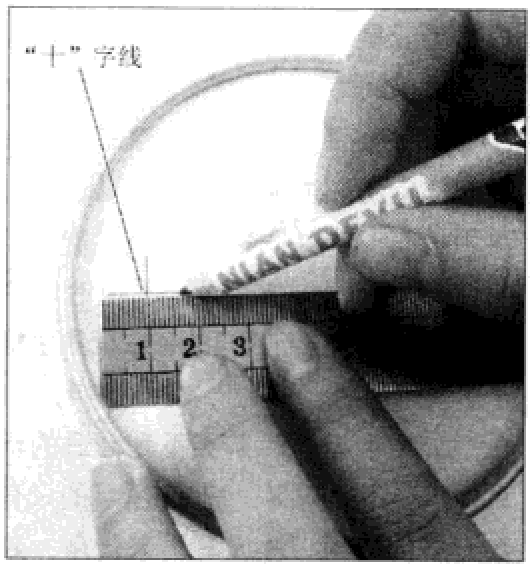
三、制作与使用

由于“激光枪”直接采用市售声光玩具手枪，所以整个打靶游戏器的制作，实际上只是“电子靶”部分的制作，其具体制作过程可分以下4个步骤来完成：

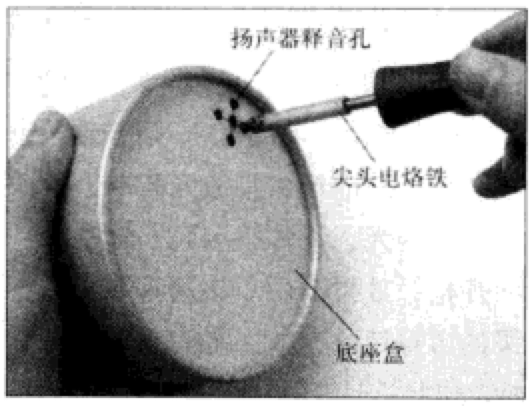
第1步



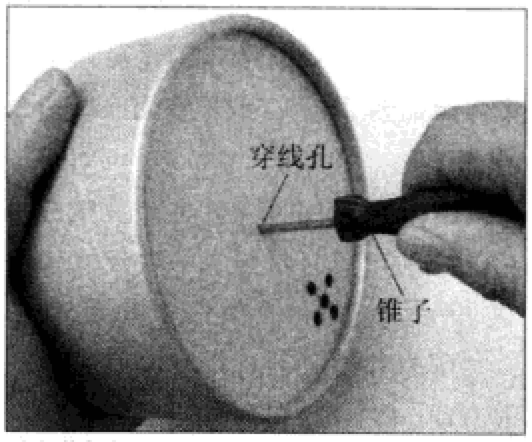
(a) 配套外观



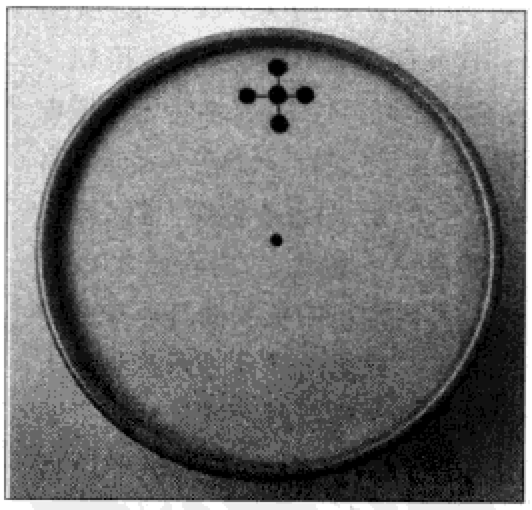
(b) 画“十”字线



(c) 烫释音孔



(d) 扎穿线孔



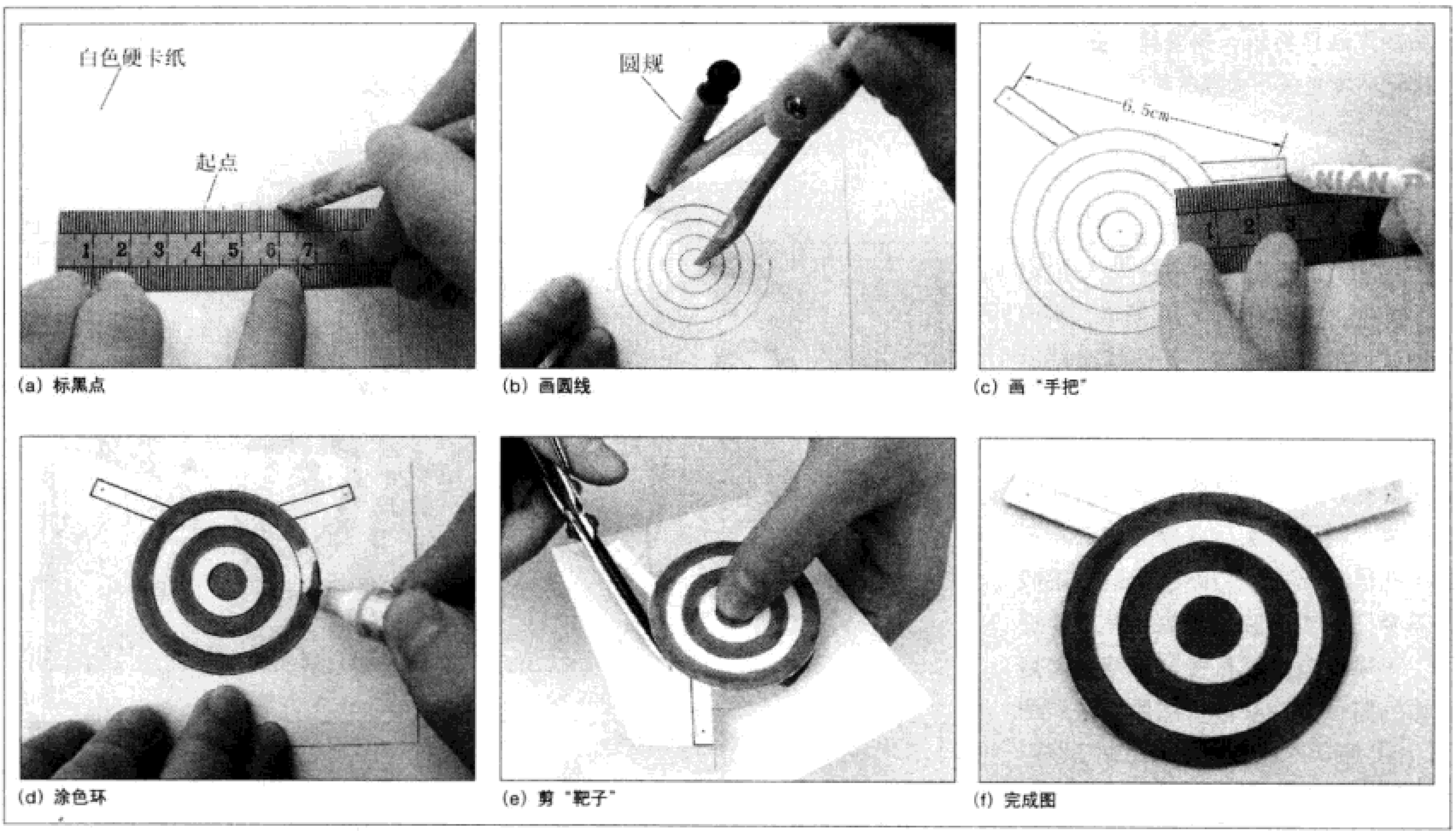
(e) 开好的孔

图6 选配“小老虎”与底座盒

第一步，按图6所示选购卡通造型的“小老虎”，并配套合适的圆形电路底座盒。首先，按照图6（a）所示，选购一个大小合适（最宽处以15cm左右、身高以18cm左右为宜）、卡通造型的漂亮毛布绒“小老虎”，并配套一个直径约14cm、高度在4.5cm左右（最低不能小于2cm）的圆形硬纸盒盖或塑料广口瓶盖，作为安装电路和固定摆放“小老虎”的底座盒。笔者采用去掉上盖的精美圆形硬纸月饼盒作底座盒，非常理想。然后，按照图6（b）所示，用直尺和铅笔在底座盒靠边处画出一个两条中点相交、长度为1.6cm的“十”字线，按图6（c）所示，用尖头电烙铁在“十”字线的4个端头和中心相交点处各烫出一个ϕ5mm的小圆孔，作为扬声器B的释音孔。其操作要领是，一边用电烙铁头扎小孔，一边来回旋转电烙铁。电烙铁温度不可太高，烙铁头在纸盒上停留的时间也不能太长，以免点燃或焦化有用部分。烫好释音孔后，还应用刀口锋利的刮胡刀片或美工刀修平整孔口沿，尤其是盒内孔沿一定要修平整，不允许有任何的凸起或毛刺。另按图6（d）所示，在底座盒中心位置用锥子扎出一个ϕ2mm的小孔，作为光敏电阻器RL的引线穿孔。这里要强调的是：扬声器释音孔不可用锥子扎，因为这将会造成孔口沿凸起变形并出现毛刺，既不美观又会顶住扬声器的发音振动盆膜，造成扬声器放音声小且沙哑。如果采用的是塑料底座盒，还可用电钻打孔。在纸质底座盒上用电钻打孔，由于纸盒强度不是太好，容易弄破纸盒并会使孔口出现许多毛刺。用电烙铁在纸盒上开孔是笔者反复实践所得，简便易行，效果不错，在业余制作时值得推广。

第2步

按图7所示制作“靶子”。首先，选一10cm×8cm见方的白色硬卡纸，按图7（a）所示，在硬卡纸上面用直尺和铅笔以纸中心为起点，朝任一方向每隔0.5cm标出一个点，共6个等距点；按图7（b）所示，以中心起点为圆心、以其他各点为动点，画出5个同心圆；并按图7（c）所示，根据所购卡通“小老虎”“双手”拿持“靶子”的理想距离（图中取6.5cm），用直尺和铅笔画出“靶子”的两个“手把”。最后，按照图7（d）所示，从所画同心圆的里圈开始，采用红色画笔将“靶子”涂成红、白相间的“靶环”；按图7（e）所示，用剪刀剪掉多余的硬卡纸，即制成图7（f）所示的“靶子”。



(a) 标黑点　(b) 画圆线　(c) 画“手把”
(d) 涂色环　(e) 剪“靶子”　(f) 完成图

图7 制作“靶子”

第3步

电路机芯的焊接与调试。整个电路按图8给出的接线图，以12曲音乐集成电路A的芯片为基板进行焊接，不必另外再设计制作印制电路板。焊接时注意：电烙铁外壳一定要良好接地，以免交流感应电压击穿A内部CMOS集成电路！焊接好的实物接线如图9所示。

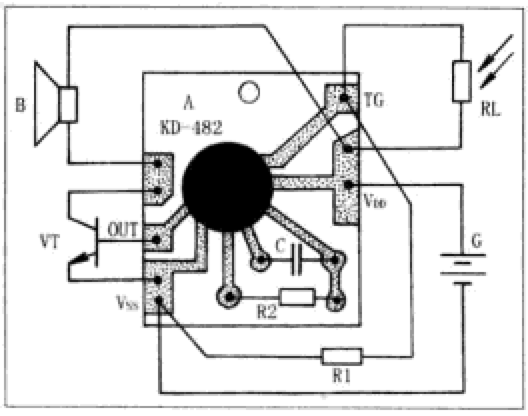


图8 “电子靶”电路接线图

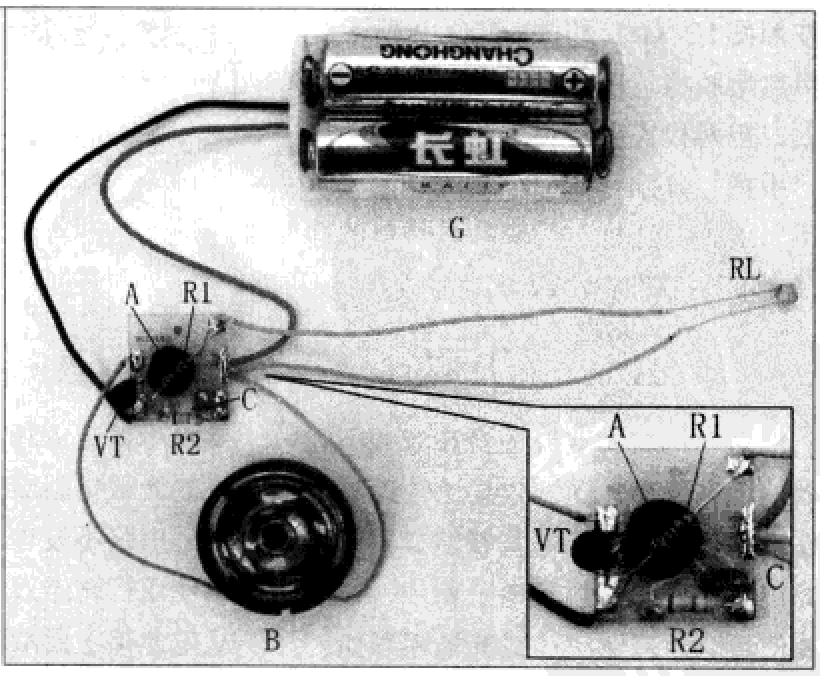
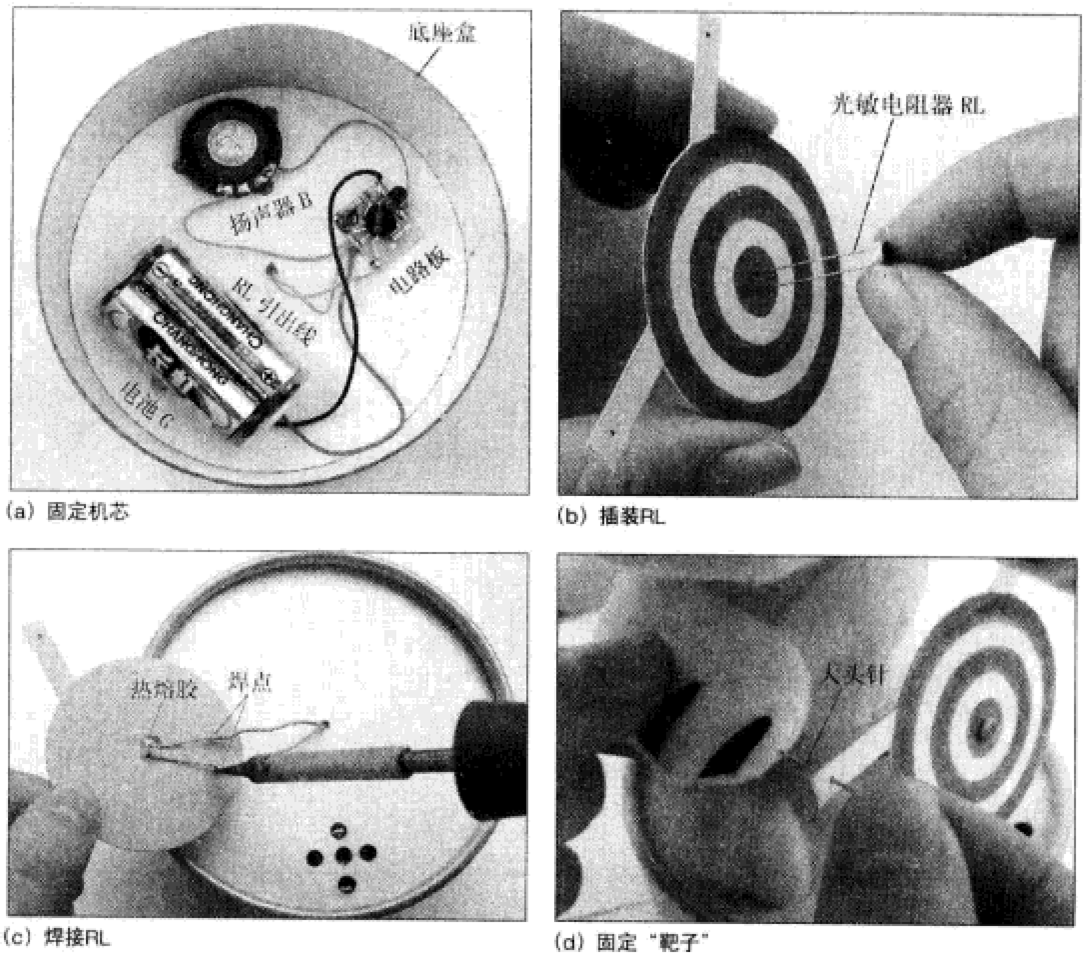


图9 焊接好的电路

焊接好的电路，在室内正常光亮下（指太阳光不直射光敏电阻器RL），往电池架装好电池，电路即通电自动由扬声器B播出一首乐曲，然后自动停止发声。这时每用声光玩具手枪发射的激光束照射一下光敏电阻器RL，扬声器B即会播出一首乐曲。如果接通电源后扬声器B奏乐一曲接着一曲不止，在排除环境光线不太强的因素下，说明所选光敏电阻器RL的亮阻太小，可更换亮阻稍大一些的光敏电阻器，也可适当减小电阻器R1的阻值一试。但R1阻值不可过小，否则电路的静态耗电量将会显著增加。如果近距离发射激光束时扬声器B能播出一首乐曲，但拉大声光玩具手枪与光敏电阻器RL之间的距离时，不能触发电路奏出乐曲，说明电路触发灵敏度太低，可适当加大电阻器R1的阻值一试，必要时可更换亮阻相对小一些的光敏电阻器RL。如嫌音乐演奏声速度不理想，可通过适当改变电阻器R2或电容器C的数值来加以调节，直到满意为止。R2取值范围一般为51~75kΩ。如果扬声器B发出自激振荡声，可通过在电源两端跨接一只100μF、10V的电解电容器（正极接VDD、负极接VSS）来加以排除。

第3步

按图10所示进行“电子靶”的组装。首先，按照图10（a）所示，将焊接调试好的电路机芯，用热熔胶粘贴到图6所准备好的底座盒中去。要求扬声器B的发音盆应正对底座盒上所开的释音孔，光敏电阻器RL暂从引线上焊下来，将引线头从底座盒中心所开的小孔里穿出去。粘贴所用的热熔胶无需专门的热熔胶枪加热热熔胶棒提供，可采用电烙铁直接加热熔化热熔胶棒的简便方法获取。然后，按照图10（b）所示，在已制好的“靶子”中央位置用锥子扎出两个小孔，由前往后插入光敏电阻器RL；按照图10（c）所示，用热熔胶固定“靶子”背面光敏电阻器RL的引出线根部，并不分极性重新焊接好光敏电阻器RL的引线；按照图10（d）和图10（e）所示，用热熔胶将“小老虎”粘固在底座盒上，用两枚大头针将“靶子”的两个“手把”分别扎在“小老虎”的“双手”上去。这样，一套独具特色的迎“虎年”打靶游戏器即大功告成！



（a）固定机芯　（b）插装RL　（c）焊接RL　（d）固定“靶子”

（e）完成品

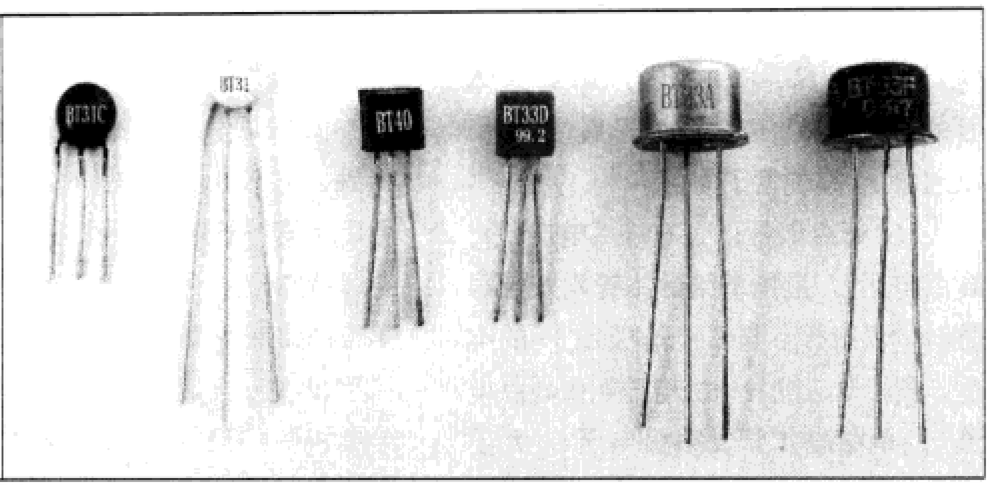
图10 组装“电子靶”

这个打靶游戏器适合在光线不太强的地方使用，这样效果比较理想。在室内使用时，最好背着窗口、门口或电灯的方向摆放“电子靶”；在室外使用时，应选树荫或其他阴影处、且逆太阳光摆放“电子靶”。总之，要以尽量避免外界光线直射“靶子”上的光敏电阻器为原则。由于“电子靶”电路不设电源开关，所以长时间不使用打靶游戏器时，最好将干电池从电池架上面取下来，以免电池电能消耗尽后流液腐蚀坏电路。

常用元器件的识别与使用（九）

与众不同的单结晶体管

◎张晓东



单结晶体管（UJT）是一种特殊的电流控制型负阻半导体器件，它和普通晶体二极管一样，只有一个PN结，但却具有3个电极——1个发射极、2个基极。因为它具有2个基极，所以也称为“双基极二极管”。又因为它虽然有3个电极，外形跟晶体三极管完全一样，但内部仅有一个PN结，所以称它为单结晶体管（简称“单结管”）。

单结晶体管具有一种非常重要的电气性能——负阻特性，利用这一特性可组成弛张振荡电路、阶梯波发生电路、定时电路、触发电路等，特点是电路简单、调整方便，广泛应用于各种自动化电子或电气控制装置中。

单结晶体管的识别

单结晶体管按制造材料的不同，可分为N型基极单结晶体管和P型基极单结晶体管两大类。但我们常用的单结晶体管几乎全部是N型基极单结晶体管，很少见到P型基极单结晶体管。因此，以下介绍的内容实际上全部针对的是N型基极单结晶体管。

1. 外形和结构

常见单结晶体管的实物外形如图1所示。由图可见，单结晶体管的外形与普通三极管相同，其封装形式主要有3种——陶瓷封装的半球状（ET型）、金属管帽封装的圆柱状（B型，管底上有一用于判断引脚的小凸口）和塑料封装的半圆柱状（TO-92型）。

单结晶体管的内部结构示意图和各部分名称见图2（a）。在一块电阻率比较高的N型硅片的两头制作有两个欧姆接触电极（指接触电阻非常小的纯电阻接触电极），分别叫第一基极b1和第二基极b2。在靠近第二基极b2的一侧中间，有一P型半导体区与N型硅片相结合，形成了一个PN结，在P型半导体上引出的电极就叫做发射极e。

为了便于理解和分析单结晶体管的工作特性，我们可以将单结晶体管的内部等效成为图2（b）所示的电路。其PN结的作用相当于一个晶体二极管VD，两个基极b1和b2之间的N型区域可等效成为一个纯电阻R_{bb}，称为基极间电阻。而R_{bb}又可看成是由两个电阻串联组成的，其中R_{b1}表示发射极e与第一基极b1之间的电阻，它的阻值可随着外加发射极电流I_e而变化，好像是一个可变电阻，R_{b2}表示发射极e与第二基极b2之间的电阻，它的数值与发射极电流I_e无关。

2. 主要参数

单结晶体管的参数较多，但最重要的直流参数是分压比η（读“艾塔”）和基极间电阻R_{bb}，其次还有耗散功率P_{b2m}这一极限参数等：

（1）基极间电阻（R_{bb}）。这是指在单结晶体管发射极e开路的条件下，两个基极b1、b2之间的纯电阻（即$R_{bb}=R_{b1}+R_{b2}$）。它的大小与管子制造材料有关，跟测试时电流的方向和大小基本无关，国产管一般在2～12kΩ。

（2）分压比（η）。这是单结晶体管发射极e到第一基极b1之间的电压（不包括PN结管压降），占第二基极b2到第一基极b1之间电压的比例。η是单结晶体管的重要参数，是一个由管子内部结构所决定的常数，它与

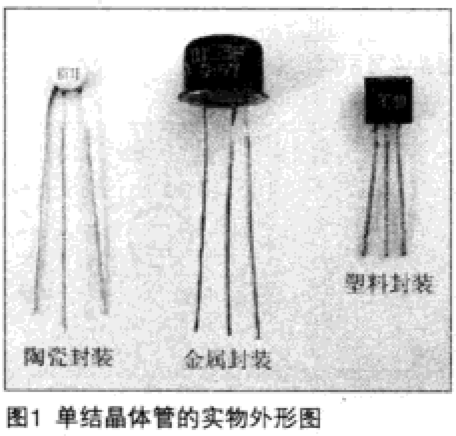
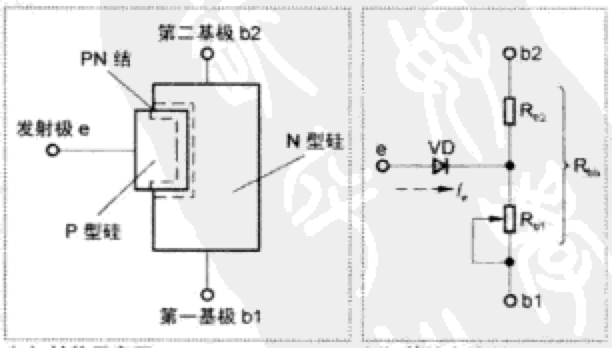


图1 单结晶体管的实物外形图



（a）结构示意图　（b）等效电路图

图2 单结晶体管的内部结构

基极间电阻 R_{bb} 的关系为：$\eta = R_{b1}/R_{bb} = R_{b1}/(R_{b1}+R_{b2})$。国产单结晶体管的 η 值在 0.3 ~ 0.9，一般使用时，以选取 η 高的管子为好。

(3) 峰点电压 (U_p) 与峰点电流 (I_p)。峰点电压 U_p 是指单结晶体管刚开始导通时的发射极 e 与第一基极 b1 间的电压，其所对应的发射极电流叫做峰点电流 I_p。单结晶体管发射极电压 U_e 大于峰点电压 U_p，是管子导通的必要条件。峰点电压 U_p 不是一个常数，而是取决于分压比 η 和外加电压 U_{bb}（基极间工作电压）的大小，即 $U_p = \eta \cdot U_{bb} + 0.7V$。$U_p$ 和 U_{bb} 成线性关系，因此单结晶体管具有稳定的触发电压。国产单结晶体管的峰点电流 I_p 一般小于 2mA。一个单结晶体管的峰点电流 I_p 小，说明它需要的触发功率小。

(4) 谷点电压 (U_v) 与谷点电流 (I_v)。谷点电压 U_v 是指单结晶体管由负阻区开始进入饱和区时的发射极 e 与第一基极 b1 间的电压，它也是维持单结晶体管处于导通状态的最小电压，其所对应的发射极电流叫做谷点电流 I_v。不同单结晶体管的谷点电压是有所不同的，处于负阻状态的单结晶体管，当发射极 e 的电压 $U_e < U_v$ 时，管子即从负阻区跳变为截止状态。国产单结晶体管的谷点电压 U_v 一般小于 3.5V、谷点电流 I_v 一般小于 1.5mA。

(5) 调制电流 (I_{b2})。这是指发射极 e 处于饱和状态时，从单结晶体管第二基极 b2 流过的电流。不同型号的单结晶体管，其调制电流也大不相同，国产管的调制电流 I_{b2} 一般在 3 ~ 40mA。

(6) 耗散功率 (P_{b2m})。这是指单结晶体管第二基极 b2 的最大耗散功率。这是一项极限参数，使用中单结晶体管实际功耗应小于 P_{b2m}，并留有一定余量，以防管子过热而损坏。

3. 型号命名规则

国产单结晶体管的型号命名比较特殊，它仅由两大部分组成，如图 3 所示。第一部分是字母 "BT"，表示 "半导体特殊器件——硅平面单结晶体管"，第二部分是阿拉伯数字（多后缀参数分挡字母 A ~ F），表示器件特性参数的分类和序号等。常用单结晶体管的型号有 BT31（陶瓷封装）和 BT32 ~ BT37（金属或塑料封装）、BT40（塑料封装）等。也有一些早期国产的单结晶体管是生产厂家自己命名的，如 5S1、5S2 等。部分国产单结晶体管的型号和主要参数见附表所示。

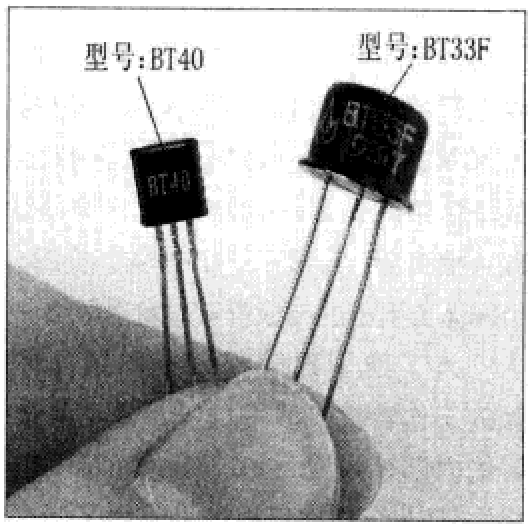


图3 单结晶体管的型号标注实例

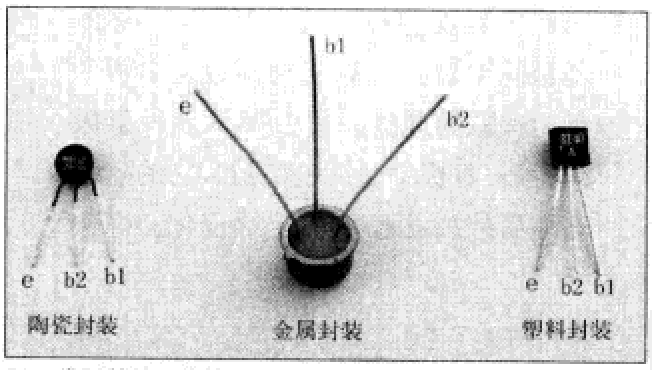


图4 常用单结晶体管引脚识别法

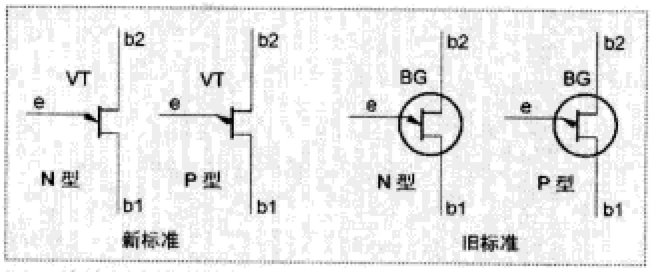


图5 单结晶体管的符号

国外生产的常见单结晶体管型号有2N6027、2N6028、N13T1、NT101等，其型号命名规则与同类晶体三极管一致，这里不再详细介绍。

4. 引脚判别方法

图4给出了常用单结晶体管各引脚的排列位序。对于陶瓷封装的半球状管子（图左），将标有型号的平面对着自己，引脚向下，从左到右，依次为e、b2、b1脚。对于金属管帽封装的圆柱状管子（图中），将引脚朝上，引脚根部等腰三角形底边（距离较宽的一边）对着自己，从左边小凸口开始，顺时针方向数，依次为e、b1、b2脚。对于塑料封装的半圆柱状管子（图右），其3个引线脚呈 "一字形" 排列，面对标有型号的一面，从左到右依次为e、b2、b1脚。

当遇到型号、封装和引脚排列不熟悉的单结晶体管时，就要查阅有关资料或用万用表检测辨认后再接入电路。

单结晶体管的使用

1. 在电路图中的识别

单结晶体管的电路符号如图5所示。其中带箭头的表示发射极e，箭头所指（或离开）方向对应的基极为第一基极bl，另一个极为第二基极b2。跟普通晶体三极管一样，以前单结晶体管的旧电路符号用圆圈表示外壳，现已废弃不再画出圆圈。

单结晶体管的文字符号一般借用晶体三极管的文字符号，常用VT（旧符号为BG）或V表示，在电路图中常写在电路符号旁边。若电路图中有多只同类元器件时，按常规就在文字后面或右下角标上数字，以示区别，如VT1、VT2等。文字符号的下边，一般标出单结晶体管的型号。

附表　部分国产单结晶体管的型号和主要参数

型号	分压比 η	基极间电阻 R_{bb}（kΩ）	调制电流 I_{b2}(mA)	峰点电流 I_p(mA)	谷点电压 U_v(V)	谷点电流 I_v(mA)	耗散功率 P_{b2m}(mW)
BT32A	0.3~0.55	3~6	8~35	≤2	≤3.5	≥1.5	250
BT32B		5~12	≤35				
BT32C	0.45~0.75	3~6					
BT32D		5~12					
BT32E	0.65~0.9	3~6					
BT32F		5~12					
BT33A	0.3~0.55	3~6	8~40	≤2	≤3.5	≥1.5	400
BT33B		5~12	≤40				
BT33C	0.45~0.75	3~6					
BT33D		5~12					
BT33E	0.65~0.9	3~6					
BT33F		5~12					
测试条件	U_{bb}=20V	U_{bb}=20V I_e=0	U_{bb}=10V	U_{bb}=20V	U_{bb}=20V	U_{bb}=20V	

2. 简易测试方法

（1）测量极间电阻。按照图6（a）所示，将万用表拨至“R×100”或“R×1k”电阻挡，分6次测试单结晶体管发射极e、第一基极b1和第二基极b2之间的电阻值，可以判断出管子的结构和好坏，也可以测出基极间电阻R_{bb}的数值。一般正常管子的极间电阻应如图6（b）所示，其中低阻值在数百欧姆至十几千欧之间，高阻值基本上为无穷大（表针不动）。由于基极本身电阻很大，所以发射极到两个基极的正向电阻要比普通硅二极管高；在两基极之间测得的电阻就是基极间电阻R_{bb}，其正常读数应为2~12kΩ。如果测量出来的数值与图6（b）相差太大，则说明管子质量有问题或已经损坏，均不宜使用。

（2）区分管脚电极。对于引脚极性无法辨认的单结晶体管，可按图6（a）所示，将万用表拨至“R×100”或“R×1k”电阻挡，通过测量任意两电极间的阻值进行区分：

第一步，区分出发射极与基极。由于单结晶体管b1、b2电极间呈纯电阻性，故用万用表测得任意两电极间的正、反向电阻值相等、且读数在2～12kΩ时，所测两个电极应为基极b1和b2，剩下的一个电极则为发射极e。

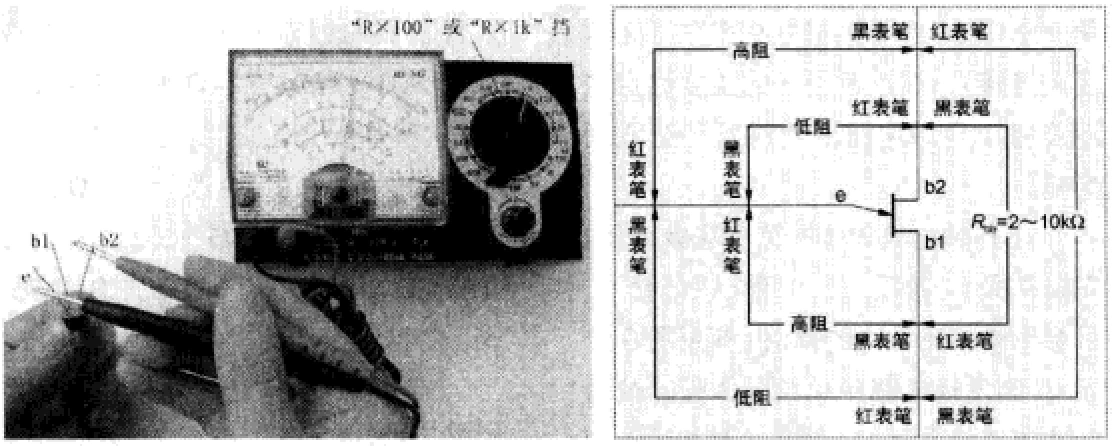
第二步，区分第一基极和第二基极。从单结晶体管的结构上得知，第二基极b2靠近PN结，所以发射极e与第二基极b2之间的正向电阻应比发射极e与第一基极bl之间的正向电阻小些，两者相差数百欧姆至数千欧姆。因此，当测得的阻值较小时，万用表红表笔所接的电极应为b2，否则应为b1。但应注意，这种区分b1、b2的方法，不一定对所有的单结晶体管都适用。

（3）检测性能好坏。单结晶体管作为一个电流控制型负阻器件，有两种基本状态，一种是发射极电流极小时的截止状态，一种是发射极电流较大时的导通状态。在检查管子好坏时，只有在管子处于截止与导通转换的状态下进行检测，才能比较准确地判断出管子的性能好坏来。

按图7所示，在单结晶体管的基极bl与b2间接上3V直流电源（可用5号新干电池两节），将指针式万用表拨至“R×1k”或“R×100”挡（要求表内电池为1.5V），将黑表笔接发射极e、红表笔接第一基极b1，这相当于在e与b1间加上了一个1.5V的正向电压。正常时，万用表表针应在无穷大处，表明管子处于截止状态，还远未达到负阻区，发射极电流I_e（由万用表内部1.5V电池提供）很小。若万用表表针向右方偏转，则表明管子无负阻特性或分压比η太低（< 0.27），管子就不能使用。

笔者多年前曾经设计出一个单结晶体管快速鉴别器，其电路如图8所示。待测的单结晶体管与电阻器R、压电陶瓷片B构成了一个极简单的音频弛张振荡器，根据压电陶瓷片B发声与否，可以快速判别出单结晶体管的好坏。显然，B发声，说明被测单结晶体管是好的，B不发声，说明被测单结晶体管已损坏。B既是发声器件，又兼具电容器的作用，采用普通带助声腔的压电陶瓷片即可。单结晶体管引脚插孔用ϕ0.4～0.6mm的裸铜丝，在大头针上密绕十几圈，然后脱胎而成。G用6～15V叠层干电池。本机不设电源开关，用毕拔掉单结晶体管，电源即自动被切断。

（4）估测分压比。分压比η是表征单结晶体管性能好坏的重要参数。我



（a）测极间电阻　（b）极间电阻规律

图6 用万用表测极间电阻

们在图 7 所示检验的基础上，可进一步估测一下 η 的范围。如果按图 7 所示进行测试时，万用表指针偏转极小(基本不动)，则此管的分压比 η > 0.27；如果万用表指针偏转大于整个表面的 10%，则表示管子已经导通，即发射极电压 U_e（由万用表内部 1.5V 电池提供）大于峰点电压 U_p（$U_p = \eta \cdot U_{bb}$+0.7V），则 η < 0.27。这里分压比 η 是通过解方程：$U_e > \eta \cdot U_{bb}$+0.7V 计算出来的，其中 U_e = 1.5V、U_{bb} = G = 3V。对于一般业余制作来说，η 小于 0.3 的管子已无什么用处了。

对于分压比 η > 0.27 的管子，再把外加电源 G 降低到 1.5V（只用 1 节 5 号新干电池），然后重复上述步骤，此时若表针基本不动，则 η > 0.53；若表针偏转较大，则 η 在 0.27 ~ 0.53。

对于分压比 η > 0.53 的管子，再把外加电源 G 恢复到 3V，并在万用表黑表笔与发射极 e 之间串入 1 节 5 号新干电池（正极接发射极 e、负极接黑表笔），使发射极电压提高到 3V。如果此时表针仍基本不动，则 η > 0.77；如果表针偏转较大，则此管的 η 值在 0.53 ~ 0.77。

3. 使用常识

（1）常用的单结晶体管大多是 N 型基极的管子，在使用时第一基极 b1 始终接地（或通过电阻器接地），第二基极 b2 则始终接电源的正极，发射极 e 一般通过一只电阻器接电源正极。最常用的单结晶体管电路就是弛张振荡器，其典型电路如图 9 所示。在单结晶体管 VT 的发射极 e 可输出锯齿波，第一基极 b1 可输出窄脉冲，第二基极 b2 可输出方波脉冲。改变电阻器 R1 或电容器 C 的数值，可改变振荡周期，从而也就改变了脉冲电压的宽度。

（2）单结晶体管在用于触发电路时，一般希望选用分压比 η 稍大一些、谷点电压 U_v 小一些、谷点电流 I_v 大一些的管子，以利于增大输出脉冲的幅度和相位调节范围。

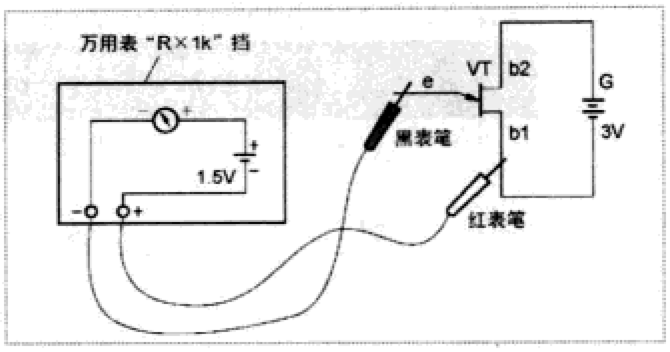


图7 检测性能的电路之一

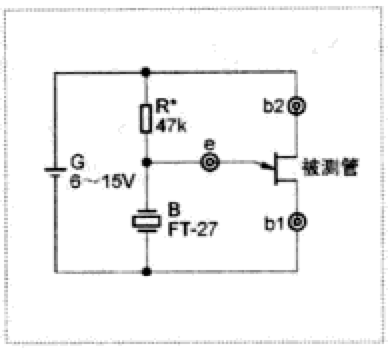


图8 检测性能的电路之二

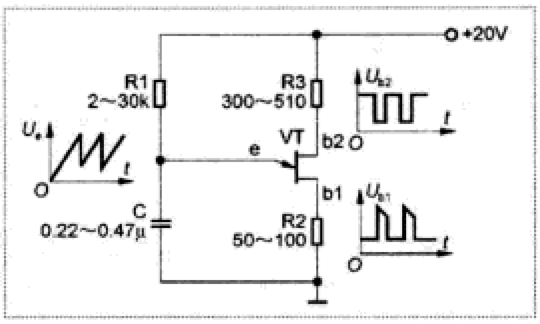


图9 弛张振荡器电路

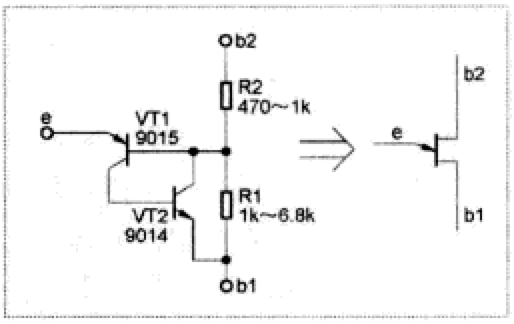


图10 模拟单结晶体管

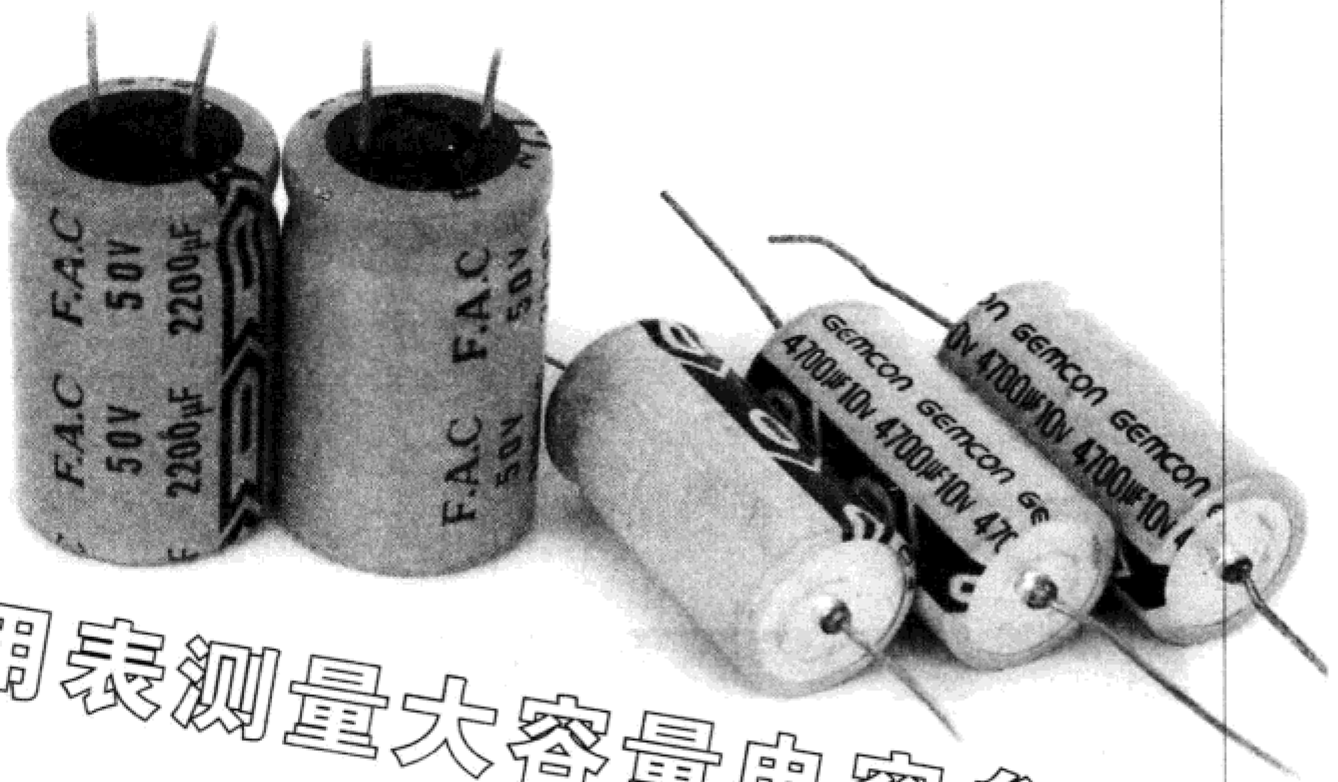
（3）不同的单结晶体管，有着不同的峰点电压 U_p 和谷点电压 U_v。同一单结晶体管，若基极间所加的工作电压 U_{bb} 不同，则它的 U_p 和 U_v 也有所不同。例如，型号为 BT33B 的单结晶体管，若 U_{bb} = 20V，则 U_p 约等于 12.8V、U_v 约等于 3V；若 U_{bb} = 10V，则 U_p 约等于 6.7V，U_v 约等于 2.6V。

（4）在单结晶体管第二基极 b2 上串联一只阻值合适的电阻器（图 9 中 R3），不仅具有温度补偿的功能，而且还能限制管子的峰值功率。在某些应用中，用一只晶体二极管与单结晶体管的第二基极 b2 或发射极 e 相串联（必须正向连接），可改善管子的温度稳定性以及减小电源电压变化对管子造成的影响。

（5）单结晶体管的第一基极 b1 和第二基极 b2 接反后，并不会损坏管子，只会影响输出脉冲的幅值（参见图 9 所示）。当发现电路中单结晶体管的输出脉冲幅值偏小时，一般往往是将管子的两个基极接反了，只要将它们对调一下就可解决问题。

（6）业余电子爱好者在进行电子制作或维修时，如果手头一时找不到合适的单结晶体管，可按图 10 所示用两只晶体三极管和两只电阻器组合代替，效果不错。图中的晶体三极管 VT1 可选用 PNP 硅管，如 9015、9012、3CG21 型等；VT2 可选用 NPN 硅管，如 9014、9013、3DG6、3DG12 型等。R1、R2 均用 RTX-1/4W 型碳膜电阻器，要求 R1 加 R2 之和等于 2 ~ 12kΩ。此模拟单结晶体管的分压比可由公式：$\eta = R1/(R1+R2)$ 求出。可见，通过电阻器 R1、R2 的不同阻值搭配，可以获得不同的分压比 η，这一特点是普通单结晶体管所不能相比的。例如，当电阻器 R2 取 1kΩ 时，R1 分别取 1kΩ、2kΩ、3kΩ、5.1kΩ 和 6.8kΩ 时，可依次获得 0.5、0.67、0.75、0.84、0.87 的分压比；如果将 R2 改为 470Ω，R1 分别取 1.5kΩ、2kΩ、3kΩ、4.7kΩ 和 6.8kΩ，可依次获得 0.76、0.8、0.86、0.9、0.93 的分压比。

（7）单结晶体管的焊接、安装要求等，与普通晶体二极管、三极管完全相同。尤其要注意的是单结晶体管的抗辐照特性很差，不宜在辐照环境中使用。



◎张俊霞　武本令

如何用万用表测量大容量电容参数

电子爱好者在进行电子设备维修及电子电路制作过程中，经常要测量大容量电容的相关参数，尤其是大容量电容的容量、极限耐压和漏电流。在业余条件下，一般没有电容表，数字万用表测量电容容量的上限也就是几百μF，对于几千乃至上万μF的电容的测量就有些无能为力了。那么，在业余条件下，利用手头的现有工具，有没有一套简单易行，又较为精确的测量大电容的方法呢？笔者经过多次实践，总结出了一套简单易行的方法与读者共享。

准备好工具器件

1. 数字万用表一块，也可以用指针式万用表，不过准确度差一些；

2. 秒表一块，也可以用电脑上的秒表软件；

3. 直流可调稳压电源一个（1.25～50V）；

4. 待测电容若干；

5. 备用电阻若干。

开始测量吧。

测量容量

要测量大电容的容量，我们需要先了解一下电容容量的测量原理。

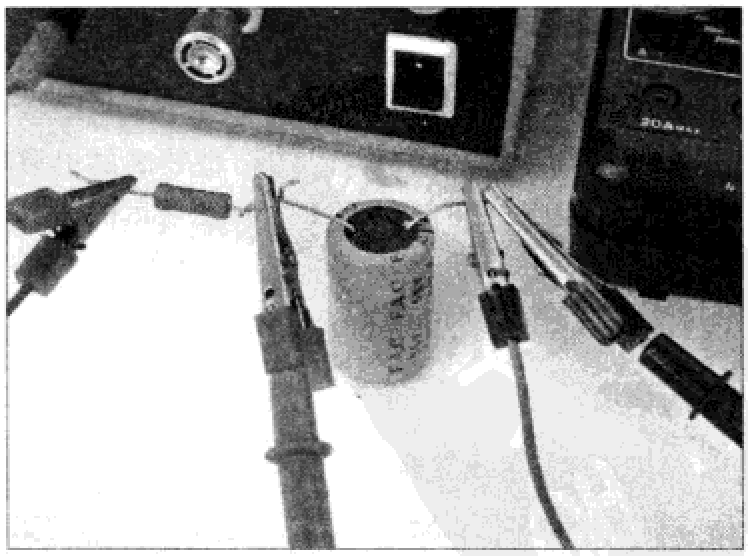
1. 测量原理

直流电压U通过电阻R对电容C充电，电路如图1所示。充电电压特性如图2所示。在充电的起始段，电容上电压U_C与时间t具有良好的线性关系，设t_1时刻电容上的电压上升到U_{C1}，充电电流将从U/R线性下降到$U-U_{C1}/R$，见图3。

充电的平均电流为：$\bar{I}=\frac{U-\frac{1}{2}U_{c1}}{R}$ 由$Q=CU_{C1}=It_1$

得：$C=\frac{U-\frac{1}{2}U_{c1}}{RU_{c1}}t_1$

测试工具



测量操作方法

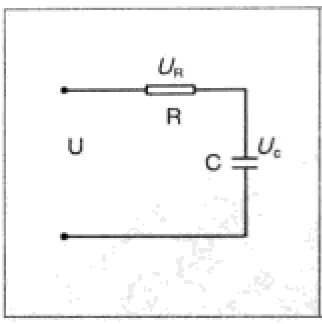


图1

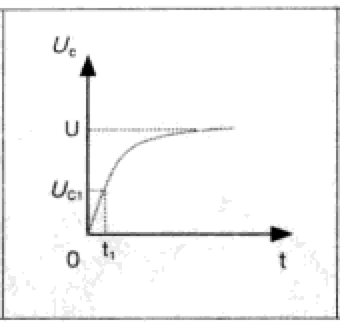


图2

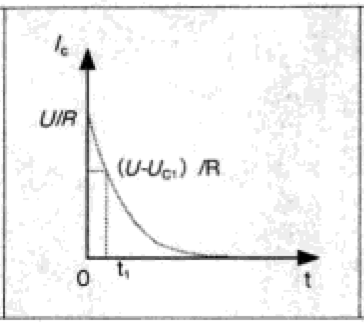


图3

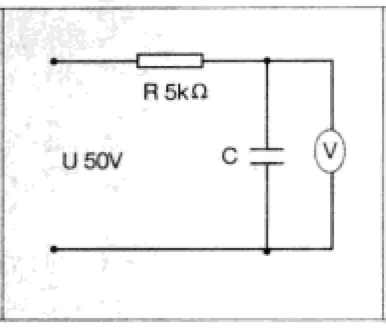


图4

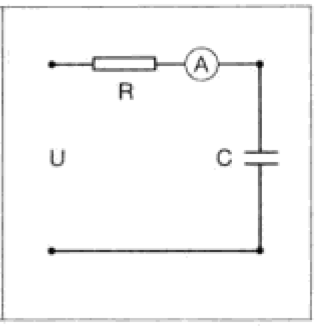


图5

表1 充电电阻的选择

电容规格	U (V)	U_{C1} (V)	t_1 (S)	C (μF)	R (MΩ)	标称值 (MΩ)
4700μF 10V	40	3	30	4700	0.0819	0.1
3300μF 25V	40	3	30	3300	0.1167	0.1
1000μF 25V	40	3	30	1000	0.385	0.33

表2 电容测试

电容规格	U (V)	U_{C1} (V)	t_1 (S)	R (MΩ)	C (μF)
4700μF 10V	40	3	46.3	0.1	5926.4
3300μF 25v	40	3	31.97	0.1	4092.16
1000μF 35V	40	3	26.31	0.33	1014.397

表3 耐压与漏电流测试

电容规格	耐压（V）	漏电流（uA）
4700μF 10V	16.2	2.2
3300μF 25v	30.4	10.7
1000μF 35V	47.8	0.1

也就是说，在确定的电源电压和充电电阻的情况下，只要测量出电容上的充电电压及对应的时间就可以计算出电容量。

而充电电阻的选择就是这个环节的关键。

2. 充电电阻的选择

$$R=\frac{U-\frac{1}{2}U_{c1}}{CU_{c1}}t_1$$

为了提高测量的准确性，应选择较高的电源电压（40V），较低的充电电压（3V）及合适的充电时间（30s），则$R=385/C$，选择3个不同容量和耐压的电容进行测试，则电阻的选择如表1所示。

3. 实际测量

将直流电源输出准确调整到40V，电容测试前充分放电，接通电路瞬间按下秒表开始计时，电压表升高到3V时按下秒表停止计时，并计下此时秒表的读数，用电子表格自动计算出电容容量，见表2。

表2仅给出了3只电容的测量结果，实际上我们测试了6种共30只电容，从测量出的容量与标称值比较可以看出，大容量电解电容的实际容量都比标称值大，同种电容测出的容量一致性很好。

测量极限耐压

电容与限流电阻串联加上较高的电压可以使电解电容击穿，此时电容上的电压即是在特定测试电流下的极限耐压。

极限耐压与测试电流的大小有关，测试电流应根据电容容量来选择，容量越大测试电流也越大。对于4700μF以上的电容，可选择大于10mA的测试电流；对于1000～4700μF的电容，可选择5mA左右的测试电流；对于10μF以下的电容，可选择0.2～1mA的测试电流。本例选择限流电阻为5kΩ，使测试电流限制在10mA以下。测试电路见图4。

电源输出调整到50V，正确连接电容正负极，过几分钟后用万用表合适的电压挡测试电容两端的稳定电压，即是该电容的极限耐压，笔者测出了3款大电容的参数如表3所示。从表中可以看出，极限耐压一般会高出额定耐压的120%以上。如果测出的极限耐压很低，可能是电容的极性接反了。

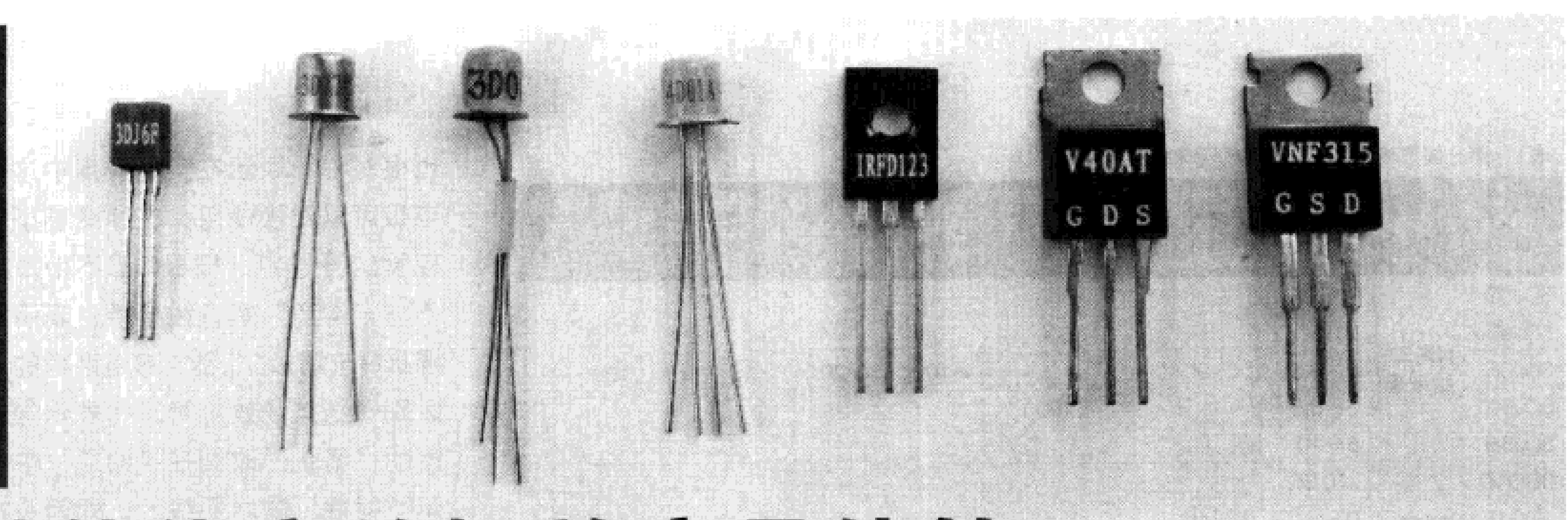
测量漏电流

电容器在额定直流电压下工作时，流过电容器的电流即是电容器的漏电流。

按照图5电路进行连接，选择限流电阻为5kΩ，每次测量，调整电源输出电压等于电容的额定电压，万用表调整到较大的电流挡（10mA以上），先使电容充满电，然后将万用表再调整到合适的小电流挡进行测量，测得漏电流见表3。

经过大量电容的测量可以看出，正品电容在正常工作状态下，漏电流都很小，一般不会超过30μA。

常用元器件的识别与使用（十）



性能优良的场效应晶体管

◎张晓东

场效应晶体管（英文缩写 FET）简称场效应管，顾名思义，它是利用电场的效应来控制电流的。场效应晶体管是在普通晶体三极管制造工艺的基础上开发出来的新一代放大元件，它有 3 个电极——栅极、漏极和源极，其特点是栅极的内阻极高，采用二氧化硅材料的可达到上千兆欧，通过栅极电压可控制漏极电流，属于电压控制型半导体器件。由于晶体三极管内部参加导电的载流子为空穴和电子两种，所以晶体三极管又称为双极性晶体管。而场效应晶体管内部参加导电的载流子只有空穴或电子一种，因此场效应晶体管又称为单极性晶体管。

场效应晶体管具有输入电阻高（10～1000MΩ）、噪声小、功耗低、动态范围大、易于集成、没有二次击穿现象、安全工作区域宽、热稳定性好等优点，其一些特性与电子管相似，现已成为双极性晶体管（尤其是功率晶体管）的强大竞争者。

场效应晶体管的识别

1. 外形和种类

常见场效应晶体管的实物外形如题图所示。由图可见，场效应晶体管的外形与普通三极管别无两样，其封装形式主要有金属壳封装和塑料封装两大类，引脚一般有3根，特殊的有4根（双栅极场效应管）和6根（一个管壳内封装两只场效应管）。

根据结构和制造工艺，场效应晶体管可分为结型场效应管（JFET）和绝缘栅场效应管（JGFET）两大类。如果按导电沟道（即电流通路）材料的不同划分，结型和绝缘栅型场效应管各有 N 沟道和 P 沟道两种。按工作方式划分，结型场效应管均为耗尽型（栅偏压为零时已存在沟道），而绝缘栅型场效应管既有耗尽型、也有增强型（栅偏压达到一定值时才会出现沟道）。

目前，在绝缘栅场效应管中，应用最为广泛的是“MOS场效应管”（即金属—氧化物—半导体场效应管），它是由金属、氧化物和半导体所组成的，简称“MOS管”。常用的场效应晶体管中还有双栅极场效应晶体管、绝缘栅双极性场效应晶体管（IGBT），以及用途广泛的各种类型的功率场效应晶体管等。

2. 主要参数

场效应晶体管的参数很多，包括直流参数、交流参数和极限参数，但一般使用时只需要关注以下几项主要参数：①夹断电压（U_P），②开启电压（U_T），③饱和漏电流（I_{DSS}），④低频跨导（g_m），⑤漏源击穿电压（B_{UDS}），⑥最大漏源电流（I_{DSM}），⑦最大耗散功率（P_{DSM}）。

3. 型号命名规则

国产小功率场效应晶体管的型号一般由4个部分组成，如图1所示。第一部分是数字“3”或“4”，分别表示有3个电极或4个电极（双栅极场效应管）；第二部分是字母“D”或“C”，分别表示N型沟道或P型沟道；第三部分是字母“J”或“O”，分别表示是结型管还是绝缘栅型管；第四部分是阿拉伯数字（多后缀参数分挡字母A～J），表示器件序号和某些特性参数的分类等。例如：3DJ6F表示N沟道结型场效应管，3C01表示P沟道绝缘栅（增强型）场效应管，4DO1A表示N沟道绝缘栅（耗尽型）双栅场效应管。还有些绝缘栅场效应晶体管，生产厂家在型号后面加有字母“B”（如3DO1D-B），表示管内对栅极加了保护措施。功率型场效应晶体管多借用国外型号命名法，还有些是生产厂家自己命名的。部分国产小功率场效应

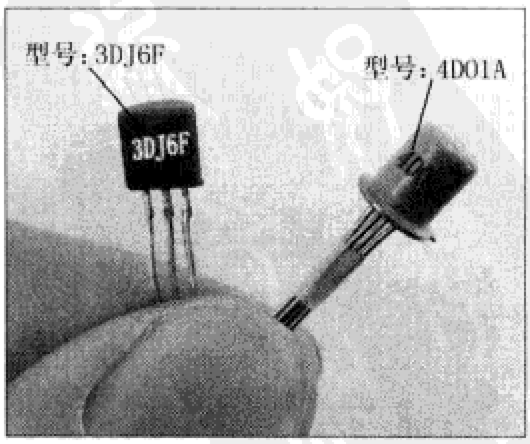


图1 场效应晶体管的型号标注实例

表1 部分国产场效应晶体管的型号和主要参数

<table>
<tr><th>型号</th><th>类型</th><th>饱和漏电流IDSS (mA)</th><th>夹断电压 U_P(V)</th><th>开启电压 U_T(V)</th><th>共源低频跨导 g_m(ms)</th><th>栅源绝缘电阻 $R_{GS}(\Omega)$</th><th>漏源击穿电压 BU_{DS}(V)</th><th>最大漏源电流 I_{DSM}(mA)</th><th>最大耗散功率 P_{DSM} (mW)</th></tr>
<tr><td>3DJ6D</td><td rowspan="5">N沟道结型管</td><td><0.35</td><td rowspan="5"><|-9|</td><td rowspan="5"></td><td>300</td><td rowspan="5">≥10^7</td><td rowspan="5">>20</td><td rowspan="5">15</td><td rowspan="5">100</td></tr>
<tr><td>3DJ6E</td><td>0.3~1.2</td><td>500</td></tr>
<tr><td>3DJ6F</td><td>1~3.5</td><td rowspan="3">1000</td></tr>
<tr><td>3DJ6G</td><td>3~6.5</td></tr>
<tr><td>3DJ6H</td><td>6~10</td></tr>
<tr><td>3DO1D</td><td rowspan="5">N沟道耗尽型MOS管</td><td><0.35</td><td rowspan="3"><|-4|</td><td rowspan="5"></td><td rowspan="5">>1000</td><td rowspan="5">≥10^9</td><td rowspan="5">>20</td><td rowspan="5">15</td><td rowspan="5">100</td></tr>
<tr><td>3DO1E</td><td>0.3~1.2</td></tr>
<tr><td>3DO1F</td><td>1~3.5</td></tr>
<tr><td>3DO1G</td><td>3~6.5</td><td rowspan="2"><|-9|</td></tr>
<tr><td>3DO1H</td><td>6~10</td></tr>
<tr><td>3DO6A</td><td rowspan="2">N沟道增强型MOS开关管</td><td rowspan="2">≤10</td><td rowspan="2"></td><td>2.5~5</td><td rowspan="2">>2000</td><td rowspan="2">≥10^9</td><td rowspan="2">>20</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">100</td></tr>
<tr><td>3DO6B</td><td><3</td></tr>
<tr><td>3CO1</td><td>P沟道增强型MOS管</td><td>≤10</td><td></td><td>|-2|~|-6|</td><td>>500</td><td>10^8~10^{11}</td><td>>15</td><td>15</td><td>100</td></tr>
<tr><td>4DO1A</td><td rowspan="4">N沟道耗尽型双栅MOS管</td><td>5~35</td><td rowspan="4"><|-5|</td><td rowspan="4"></td><td>>10000</td><td rowspan="4">≥10^8</td><td rowspan="4">≥18</td><td rowspan="4">30</td><td rowspan="4">100</td></tr>
<tr><td>4DO1B</td><td>≤10</td><td rowspan="3">>7000</td></tr>
<tr><td>4DO1C</td><td>9~20</td></tr>
<tr><td>4DO1D</td><td>19~35</td></tr>
</table>

晶体管的型号和主要参数见表1。

国外生产的常见场效应晶体管型号有2SK11、3N128、BFW11、MFE3004、IRFD120、BS170……其型号命名规则与同类晶体三极管一致，这里不再详细介绍。

图2给出了国产小功率场效应晶体管各引脚的排列位序。

场效应晶体管的使用

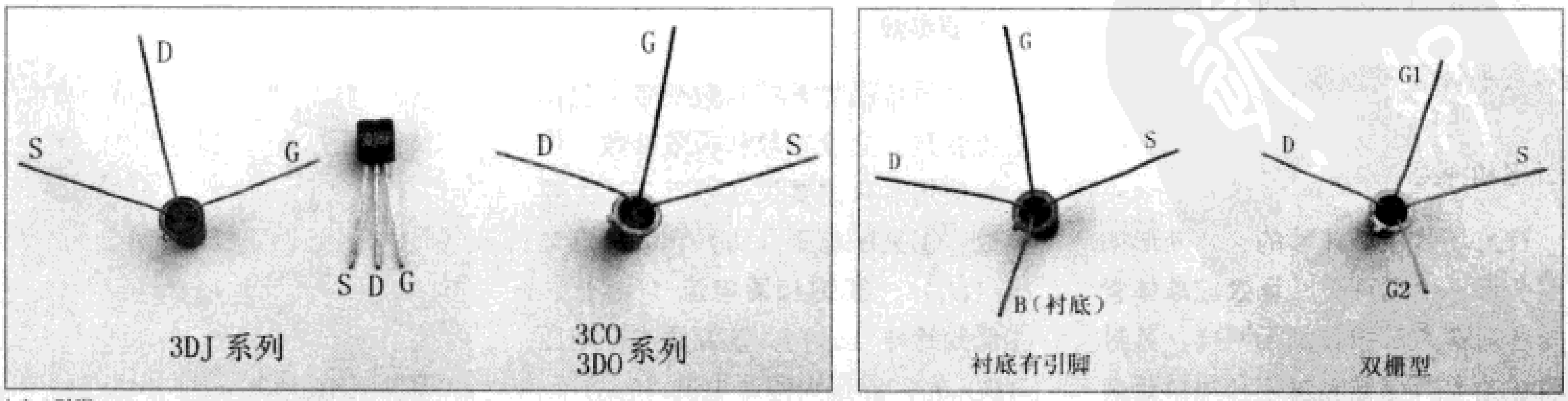
1. 在电路图中的识别

场效应晶体管的电路符号如图3所示。其中结型场效应管的符号中，竖直线表示能导电的沟道，竖直线顶部的一条直角线表示漏极D，竖直线底部的一条直角线表示源极S，竖直线左面带箭头的直线表示栅极G。同普通晶体三极管一样，箭头指向表示从P型指向N型材料，从箭头指向就可以知道是哪种沟道的结型场效应管。很显然，符号中箭头指向“沟道”，表示是N型沟道结型场效应管；箭头背离“沟道”，表示是P型沟道结型场效应管。由于结型管的源极S和漏极D在制造工艺上是对称的，所以符号画法也很对称，表示在实际应用中这两个电极可以对换使用。在绝缘栅型场效应管的符号中，栅极G都不带箭头、不与“沟道”竖直线接触，表示管中栅极G与漏极D、源极S是绝缘的，以区别于结型场效应管。将表示沟道结型的“箭头”改画在“沟道”中间表示“衬底”的水平线上，即箭头指向“沟道”，表示是N型沟道绝缘栅型场效应管；箭头背离“沟道”，表示是P型沟道绝缘栅型场效应管。另外，箭头线画的短，表示衬底无引出线；箭头线画的稍长，表示衬底有引出线；箭头线与源极S相连，表示衬底在管子内部已经与源极连接。对于增强型的管子，还将“沟道”线画成三截，表示在零栅压下这种管子是没有导电沟道的，以区别于耗尽型MOS管和结型场效应管。可见，掌握了场效应晶体管的这些电路符号，就等于掌握了场效应晶体管的种类，这对分析电路和正确运用场效应晶体管都很重要。

2. 简易测试方法

电子爱好者经常用到的3DJ系列等结型场效应晶体管，可用万用表进行以下的简单测试：

（1）区分管脚电极。将万用表拨至“R×1k”电阻挡，分别测试每两个引脚间的正、反向电阻值。当某两个引脚间的正、反向电阻值相等，且为几千欧姆时，则这两个引脚为漏极D和源极S。因为对结型场效应晶体管而言，



(a) 3引脚 (b) 4引脚

图2 常用场效应晶体管的引脚识别

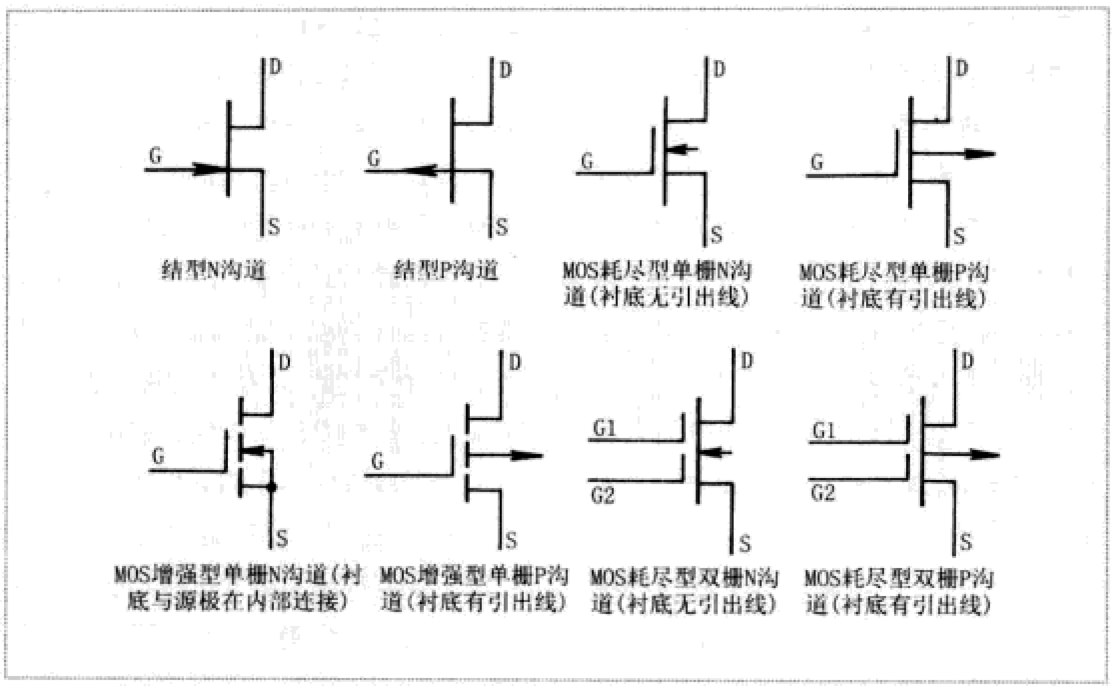


图3 场效应晶体管的符号

漏极D和源极S可互换使用，所以剩下的引脚肯定是栅极G。

（2）区分管子的沟道类型。将万用表拨至“R×1k”电阻挡，黑表笔接被测场效应晶体管的栅极G，红表笔分别去接另外两引脚。如果两次测得的电阻值均很大，则说明被测管为N沟道场效应晶体管；如果两次测得的电阻值均很小，则被测管为P沟道场效应管。如果测量结果不符合以上两种情况，则说明被测管已损坏或性能不良。

（3）估测管子的放大能力。按照图4所示，将万用表拨至“R×100”电阻挡，红表笔接源极S，黑表笔接漏极D，由于测阻值时万用表内接1.5V电池，这就相当于给场效应晶体管的D、S极加上了一个正向电压。这时用手去接触栅极G，就会将人体的感应电压作为输入信号加到栅极G上。由于场效应晶体管的放大作用，表针会摆动（漏极电流变化引起），表针摆动幅度越大（不论向左或向右摆动均正常），表明被测管的放大能力越强。如果表针不动，说明管子已经损坏。

此法还可用来估测绝缘栅场效应管（MOS管）的放大能力。由于其输入阻抗很高，为防止人体感应电压引起栅极G击穿，注意不可用手去直接接触栅极G，而应手捏小螺丝刀的绝缘柄，用螺丝刀的金属杆去接触栅极G。具体判断方法与结型场效应晶体管相同。如再次估测时，应首先用小螺丝刀短接一下管子的源极S与栅极G，泄放掉极间电容在上次测量时有可能充上的少量电荷，以保证测量的准确性。

借用数字万用表的“h_{FE}”挡还可直接估测出场效应晶体管的跨导g_m（放大系数）。具体方法如图5所示：把数字万用表的挡位选择开关旋至“h_{FE}”挡，将被测管的栅极G、漏极D和源极S引脚分别插入表盘上测量晶体三极管的b、c、e插孔中。

注意：N沟道管插入“NPN”插孔中，P沟道管插入“PNP”插孔中。此时，液晶显示屏上会显示出一个读数，即可认为是被测管子的跨导g_m。该读数越大，说明被测管的放大能力越强。若显示屏仅显示出“000”或“1”，则说明可能是被测管的引脚插错了。

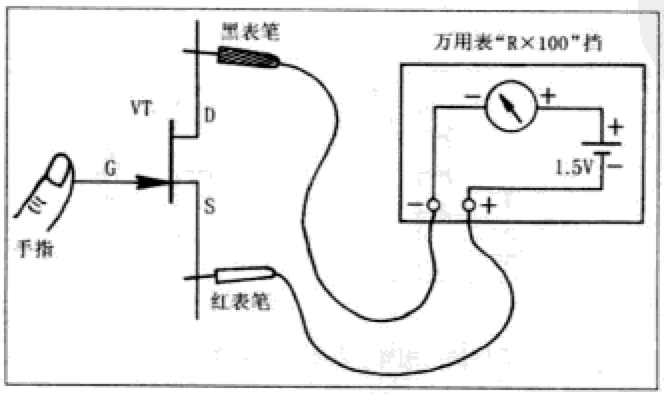


图4 检测场效应晶体管的放大能力

3. 使用常识

任何一种电子元器件，不管其性能如何优良，如果使用不正确，不仅不能发挥其优点，搞不好还会造成损坏。场效应晶体管有它自己独特的“脾气”，在使用中应着重注意下面几点：

（1）场效应晶体管有多种类型，使用前必须认清型号，辨明导电极性，不可盲目接入电路。为保证管子安全、稳定地工作，要求做到两点：一是应根据应用电路的需要选择合适的管型。例如，彩色电视机的高频调谐器、半导体收音机的变频器等高频电路，应使用双栅极场效应晶体管。音频放大器的差分输入电路及调制、放大、阻抗变换、稳流、限流、自动保护等电路，可选用结型场效应晶体管。音频功率放大、开关电源、逆变器，电源转换器、镇流器、充电器、电动机驱动、继电器驱动等电路，可选用功率MOS场效应晶体管。二是所选场效应晶体管的主要参数应符合应用电路的具体要求。小功率场效应晶体管应注意输入阻抗、低频跨导、夹断电压（或开启电压）、击穿电压等参数；大功率场效应晶体管应注意击穿电压、耗散功率、漏极电流等参数，并留有一定的余量。

（2）场效应晶体管同普通晶体三极管一样，在用于放大信号等时需要给栅极加上适当的偏置电压。不同类型的场效应晶体管，对偏压的要求也不尽相同。例如，对结型场效应晶体管而言，栅极与源极间的PN结应加反向偏置电压，即N沟道管加负栅压，P沟道管加正栅压；对于增强型绝缘栅场效应晶体

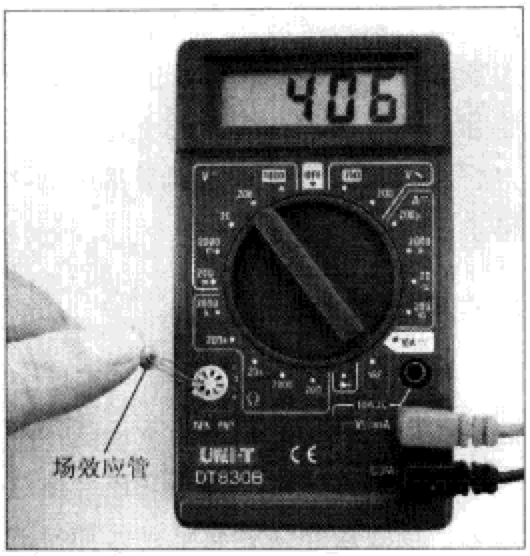


图5 估测场效应晶体管的跨导g_m

管而言，应加正向偏置电压；耗尽型绝缘栅场效应晶体管的栅偏压可正、可负、可为“0”，具体如表2所示。加偏置电压的方法有固定偏置法、自给偏置法、直接耦合法等。读者必须熟记并掌握这些基本要求，以便正确、灵活地使用管子。

（3）结型场效应晶体管（JFET）的漏、源极在结构上是对称的，可以互换使用。结型场效应晶体管的噪声性能和抗辐射性能均比MOS管好，可靠性和工作稳定性也较高。但是交叉调制和互调失真比MOS管大，输入阻抗也稍低些。

（4）绝缘栅场效应管（即常用的MOS管）比较“娇气”。这是由于它的输入电阻很高，而栅极与源极之间电容又非常小，极易受外界电磁场或静电的感应而带电，而少量电荷就可在极间电容上形成相当高的电压（$U=Q/C$），将管子击穿。因此出厂时各管脚都用塑料管套接在一起，或用金属箔包裹起来，以使栅极G与源极S短接，防止积累静电荷。爱好者手头不用的管子，也应短接全部引脚，并最好放在金属盒内保存。在测量和焊接时一定要采取相应的防静电感应措施。例如，将双手事先触摸接地体以泄放掉人体静电，或者在手腕上接一条导线与大地连通（可使用专门的“防静电手腕带”），使人体与大地始终保持等电位，这样才能安全地去摸触MOS管的引脚。

表2 场效应晶体管的偏置电压极性

类型	沟道	电压极性	
		栅极电压极性（U_{GS}）	漏极电压极性（U_{DS}）
结型	N	-	+
	P	+	-
MOS耗尽型	N	-、0、+	+
	P	+、0、-	-
MOS增强型	N	+	+
	P	-	-
说明：各电压极性以源极S为基准			

（5）由于近年来制造工艺的不断进步，MOS管的可靠性尤其是防静电性能有了很大提高。例如，一些绝缘栅场效应晶体管的栅极G与源极S之间，专门并接了一个稳压二极管（耗尽型管用一对“背靠背”的串联稳压二极管），以保护管子不被静电所击穿，使用时可像结型场效应晶体管一样方便。还有一些大功率管在漏极D与源极S之间并接了一个二极管或肖特基二极管，其目的是在接入电感负载时，防止反电动势损坏管子。这些管子的电路图符号如图6所示（注意：衬底与源极在管内连接），有时两种接法在一个管子中同时应用。当用万用表测量这些管子的极间电阻、并判断管子质量好坏时，应注意加入保护二极管等因素的影响，以免作出错误判断。

（6）场效应晶体管在代换时与晶体三极管一样，也应遵循代换管与原管“类型相同、特性相近、外形相似”三项基本原则。一般结型场效应晶体管应用的电路中，可以使用绝缘栅型场效应晶体管，但绝缘栅（增强）型场效应晶体管应用的电路不能用结型场效应晶体管代替。对于音频功率放大器用的推挽功率对管，也可以用耗散功率和漏源击穿电压略高一些的同类管代换，但应注意将两管同时更换，以保证所代换的推挽管各项参数一致（配对）。一般所选大功率管的最大耗散功率应为放大器输出功率的0.5～1倍，漏源击穿电压应为功放工作电压的2倍以上。

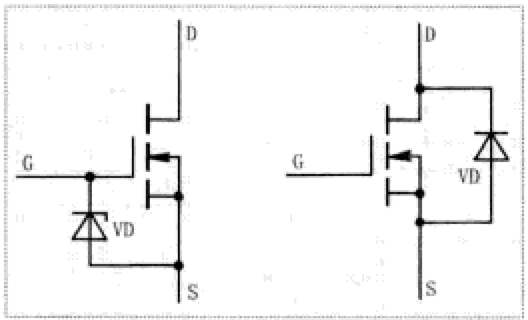


图6 加有保护二极管的场效应晶体管

（7）由于场效应晶体管的输入阻抗高，所以电极引脚间或线路板上有灰尘、油污以及受潮后，均会降低输入阻抗，影响工作性能。因此要注意保持清洁，特别要注意焊后仔细清洗残留焊剂。此外，场效应晶体管在一些特殊场合使用时，更应注意采取防潮措施，以免由于潮湿的影响而使管子的输入电阻下降，性能变坏，影响正常工作；在音响前置放大器中使用时，由于最容易感应交流杂波信号，使扬声器产生交流声，所以要注意采取必要的屏蔽措施。

（8）场效应晶体管的基本焊接、安装要求等，与普通晶体管完全相同。需要强调的是：为了防止管子的栅极被交流感应电压击穿，要求电烙铁、线路本身都必须有良好的接地线。在焊接管脚时，一般应先焊接漏、源极，后焊接栅极，拆下时也应最后焊下栅极。不带保护二极管的绝缘栅型场效应晶体管，在焊入电路之前应保持原塑料套或保护铝箔不动，用一段裸细铜丝在管脚的根部绕数圈，使管脚完全并联在一起，再把管脚剪至需要的长度并弯成适当形状，就可以像焊接普通晶体三极管那样焊接了，焊好后再把细铜丝拆除。在电路通电的情况下，不允许把管子接入电路或从电路中拆出。若焊接用的电烙铁无接地线，可断开电烙铁的电源插头，利用余热快速焊接，以避免交流感应电压将管子的栅极击穿。

如何用好晶体三极管

◎张晓东

晶体三极管的选择和使用，比电阻器、电容器和晶体二极管等所涉及的内容要复杂得多。例如一只晶体三极管，可以接成不同的电路型式，得到不同的电路特性；而同一电路型式，采用不同的偏置方法，又有不同的适应范围和特点。下面就初学者需要掌握的一些基本常识介绍如下。

1. 在电子制作中，一般应根据电路图上注明的型号正确选用三极管。在使用中注意：不能改变加到某一晶体三极管的电压极性，PNP 型晶体三极管的发射极对其他两电极是正电位，NPN 型晶体三极管则是负电位；不论是在静态、动态或不稳定态（如电路启、闭时），均需防止电流、电压超出最大极限值，绝对不允许两项以上的参数接近或等于极限值。要提高普通晶体三极管的可靠性，具体措施是增大电压、电流的余量，改善管子散热条件等。要防止光线（指玻璃外壳的晶体三极管黑色漆皮剥落）、放射线射入晶体三极管的结部，否则噪声将增加。

2. 晶体三极管在焊接前，应查明或测出电极的排列顺序。有的高频晶体三极管有4个引出脚，除了基极b、集电极c和发射极e以外，第4个脚是接“地”脚，它仅跟管子的金属外壳相通，应当接电路的“地”端，以避免产生高频自激。电极位置不清楚或管子性能不佳时，切勿盲目焊入电路，以免造成人为故障。

在印制电路板上焊接晶体三极管时往往会发生引脚焊反等错误。这是因为印制电路板给出的接线图基本上都是有铜箔一面的图，而元器件要从没有铜箔的一面（或者是双层电路板的顶面）插入，这对于多引出脚的晶体三极管这类元器件来说，在插接的时候就很容易出错。为此，推荐给晶体三极管的3个引出脚套上合适的塑料有色绝缘管，这不仅能够有效避免焊接错误，而且还能避免元器件之间发生相碰而造成的短路故障。通常，晶体三极管的集电极c套红色塑料管，基极b套白色或黄色塑料管，发射极e套绿色塑料管。作者在学生时代进行电子制作时一直使用这种方法，非常有效。就是如今在“万能电路板”上进行电子实验的一些晶体管、晶闸管等元器件，仍然在使用这种方法，真是简便有效。

3. 焊接晶体三极管时最好切断电源。如果必须在通电的情况下焊接晶体三极管，则应先接通基极，其次发射极，最后集电极。拆下时则按相反的顺序进行，先拆下集电极，再拆发射极，最后基极。在发射极与集电极间有偏压时，一般不得断开基极电路，这是因为管子的集电极-发射极击穿电压$V_{(BR)\ ceo}$较低，基极悬空时极易造成电压击穿。焊接动作要快，最好用尖嘴钳或镊子夹住电极引线的根部，以防过多的热量传入晶体三极管内部。电烙铁的功率不要高于60W，焊接时间一般大功率管小于10s、小功率管不宜超过5s，并且应使用熔点不高于150℃的低熔点焊锡。

4. 安装晶体三极管时注意：一般不允许在引出线离外壳5mm以内的地方进行焊接或折弯。但对于工作在甚高频或脉冲电路的晶体三极管，则引线应尽量短些。安装位置应避免靠近发热元器件，以减小温度变化影响和保证管壳散热良好。当在强振动（加速度大于5g）的条件下使用时，应将管壳紧固。对于功率管特别是大功率管，安装时必须按要求加装散热板或散热器，以免损坏管子。散热板通常为磨光表面的紫铜板或铝板，管壳（常为集电极）与散热板需紧密贴牢而无间隙（必须在接触面涂一层专用的导热硅脂），以保证有良好的散热性能，散热板或散热器应垂直安装，以使空气能自然对流。小功率管焊接在印制电路板上时，管脚不宜过长，以便充分利用底板散热。

5. 在维修更换晶体三极管时，最好采用和原来同一型号的管子，不可随意代用。实在没有同一型号的管子时，也要用同一类型的管子，而且要重新调试工作电流。在电子制作时，遇到手头一时找不到所需型号的晶体三极管时，

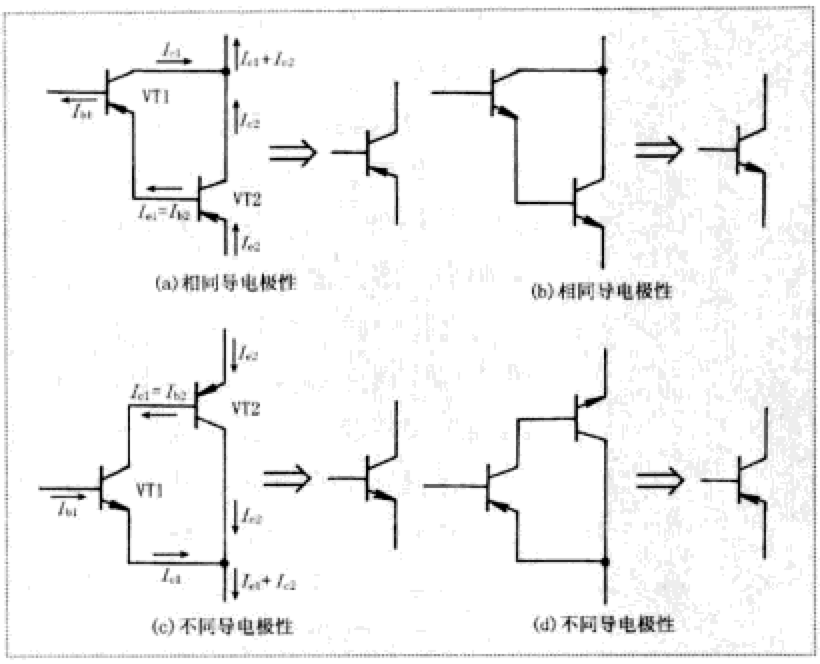


图1 4种复合管的连接方法

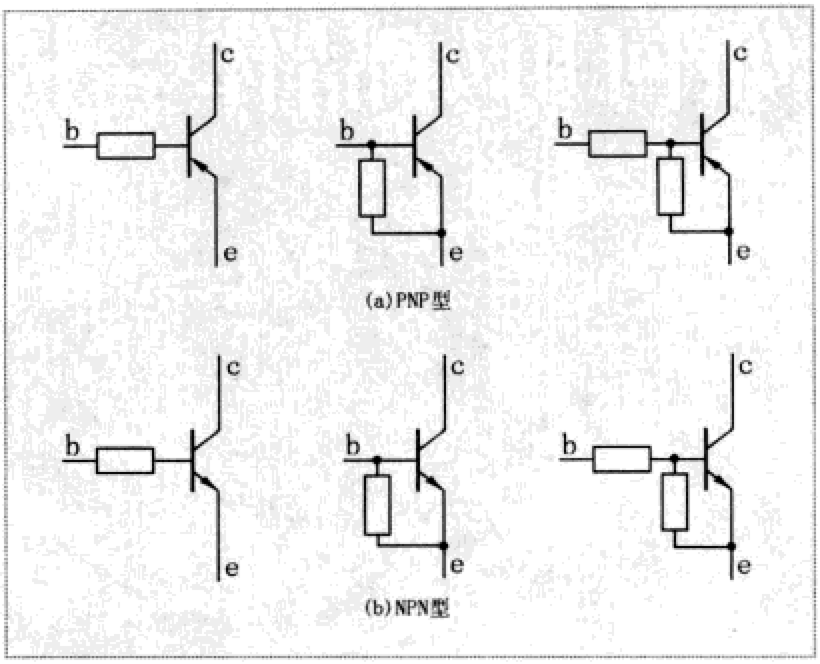


图2 常见带阻晶体三极管内部电路

一般可以用有相似功能的其他型号三极管代替。晶体三极管代换的基本原则和方法是：

(1) 极限参数高的晶体三极管可以代替极限参数较低的同类型三极管。例如：耐压高的可以代换耐压低的，最大耗散功率 P_{CM} 大的可以代换较小的。

(2) 性能好的晶体三极管可以代替性能较差的同类型三极管。例如高 β 管可代换 β 值低的，穿透电流小的三极管可以代换大的。

(3) 在小电流的情况下，高频、开关三极管可以代替普通低频三极管。

(4) 硅管与锗管相互代用时，首先要求导电类型相同，即 PNP 型与 NPN 型不能互代。其次注意参数是否相似。在成品机件中代换后，电路还要作相应调整。

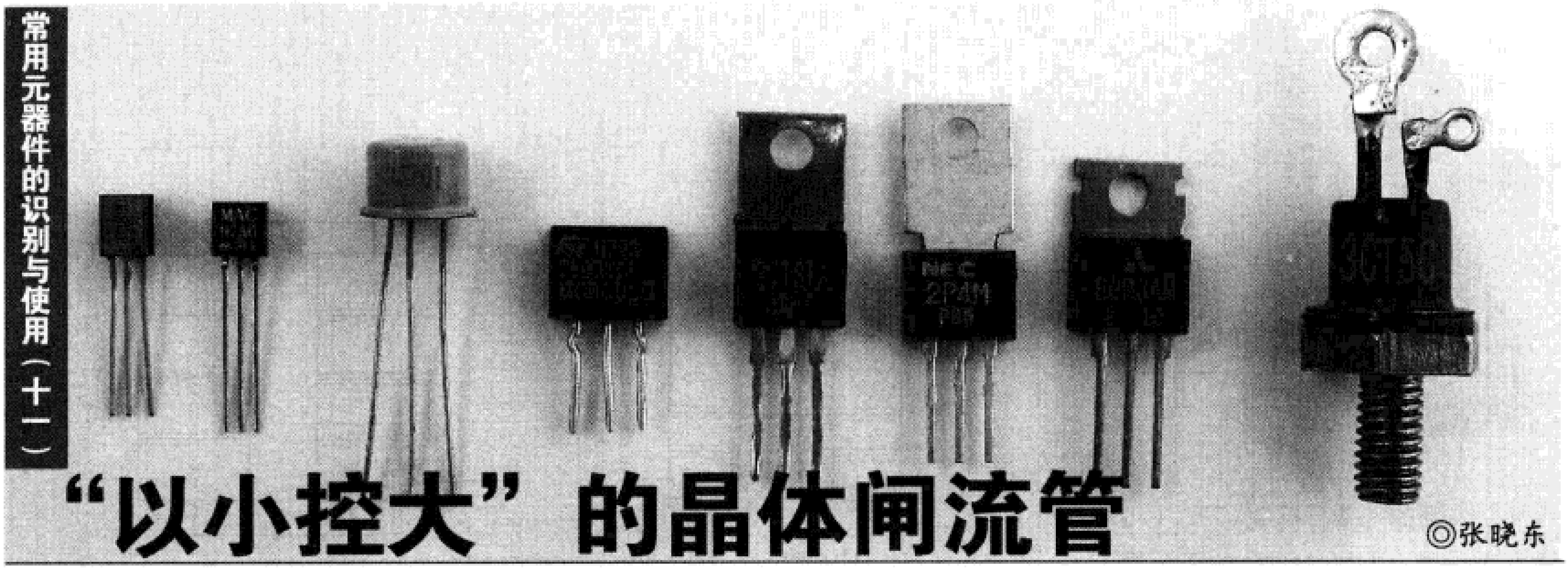
6. 晶体三极管的许多参数都是集电极电流 I_c 的函数，有些甚至随 I_c 变化很大。如果工作电流选择和调试不当，就不能充分发挥晶体三极管的性能。例如，有些晶体三极管在正常电流下测量 hFE 时，其 hFE 很正常，但如果在小电流下工作时，hFE 很小，或者简直没有放大能力。另外，音响放大管的静态工作电流选择过大或过小，都有可能使电路产生自激、失真和噪声增大等毛病。所以，按照电路设计要求合理调试好管子的工作电流，是保证晶体三极管良好工作的关键所在。

7. 国产同一型号的晶体三极管，如果最后一个字母不同，则它们的某些参数就有区别。例如，3DK4是NPN型硅开关管，它有3DK4、3DK4A～C等4种，它们虽然基本特性是相同的，但是集电极-发射极击穿电压 $V_{(BR)\ ceo}$ 不相同，使用时应根据实际需要加以选择。另外,国产晶体三极管根据不同的使用要求，分为一、二、三、四类。常用的是二类和三类产品，二类产品的性能要优于三类产品。二类产品在外壳上的标志字母为“J”，三类产品的标志字母为“M”。

8. 有时为了提高晶体三极管的电流放大系数，可以采用两个三极管组成复合三极管（简称复合管）。图 1（a)、(b）是用两个相同导电极性的三极管来构成，图 1（c)、(d）是由两只导电极性不同的三极管所构成。无论哪一种接法，都可以把组合起来的三极管看作是一只管子，这只管子的导电极性与复合管中的小管子（即基极外接的管子）极性相同，而其总的电流放大系数近似等于两只管子放大系数的乘积。由图 1 (c)、(d）还可以看出，采用复合管的方式能够改变晶体三极管的极性。例如，图 1（c）中 VT2 极性原为 PNP，复合后就变成 NPN 型的晶体三极管了。市场上出售的成品复合三极管，由两只或多只晶体三极管复合而成，对外只有 3 个引出脚,外形与普通晶体三极管一样，要区分它们只能通过型号和测试加以判别，这种复合三极管通常称为达林顿管，在电路图中常用字母 DT 表示。

9. 在电视机、影碟机、录像机、计算机显示器等电子产品中，广泛采用了一种带阻晶体三极管。所谓带阻晶体三极管，是指将1只或2只电阻器与晶体管连接后封装在一起构成的特殊晶体三极管，在电路中主要用作反相器或电子开关。常用带阻晶体管的类型及内部电路如图2所示。带阻晶体三极管的外形与普通晶体三极管没有什么区别，但由于它的内部含有电阻器，所以检测的方法与普通晶体管略有不同。检测之前应先了解管内电阻器的阻值以及连接类型，考虑到内含电阻器对各极间正、反向电阻值的影响。在维修（或制作）时，如无同型号的带阻晶体三极管换用，可用同功率、同反向最高电压的普通晶体管外接1只或2只合适阻值（可查阅厂家资料）的电阻器代替。

常用元器件的识别与使用（十二）



"以小控大"的晶体闸流管

◎张晓东

晶体闸流管(Thyristor)简称晶闸管，过去叫可控硅（SCR），它是一种以小电流（电压）控制大电流（电压）的功率（电流）型半导体器件。由于它能够像闸门控制水流一样，轻而易举地控制大电流的流通，闸流管由此得名。

晶体闸流管作为一种能够控制强电（高电压、大电流）的特殊无触点开关，具有体积小、功耗低、动作快、寿命长以及使用方便等优点，因而应用领域十分广泛，在普通家用电器、电子测量仪器和工业自动化设备中都能见到它。如今，在电子爱好者的许多制作中也采用了晶体闸流管，如交流无触点开关、可控整流器、调光灯、调速器、调压器以及各种自动控制装置等。

限于篇幅，下面我们只对业余电子制作中经常使用的普通单向晶闸管和双向晶闸管进行重点介绍。

如何识别晶体闸流管

1. 种类和外形

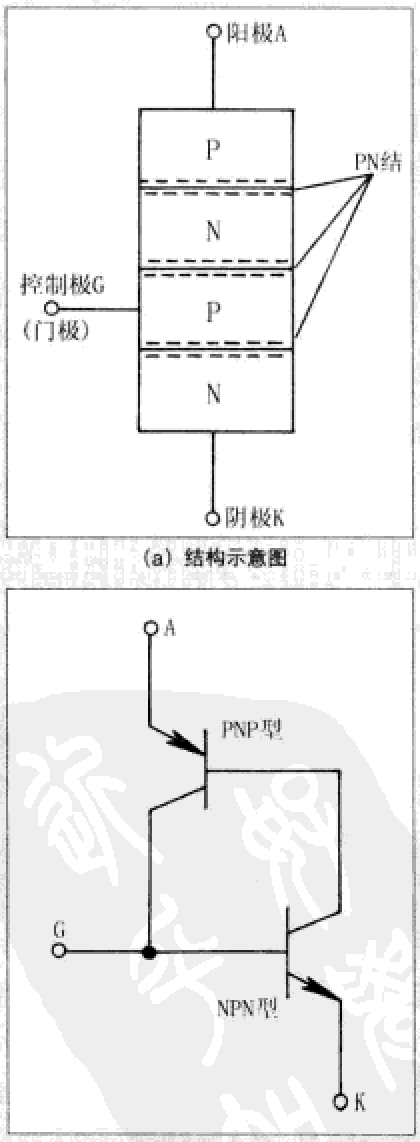
晶体闸流管有多种分类方法：按其关断、导通及控制方式可分为普通单向晶闸管、双向晶闸管、光控晶闸管、门极可关断晶闸管(GTO)、逆导晶闸管、温控晶闸管和BTG晶闸管（既可作晶闸管使用、又可作单结晶体管使用）等多种；按其引脚和极性可分为二极晶闸管、三极晶闸管和四极晶闸管；按其封装形式可分为金属封装晶闸管、塑封晶闸管和陶瓷封装晶闸管三种类型（金属封装晶闸管又分为螺栓形、平板形、圆壳形等多种，塑封晶闸管又分为带散热片型和不带散热片型两种）；按电流容量可分为大功率晶闸管、中功率晶闸管和小功率晶闸管（大功率晶闸管多采用金属壳封装，中、小功率晶闸管则多采用塑封或陶瓷封装）；按其关断速度可分为普通晶闸管和高频（快速）晶闸管。

目前，电子爱好者最常用的晶体闸流管是中、小功率的单向晶闸管和双向晶闸管，其实物外形如题图所示。由图可见，它们的外形与普通三极管别无两样，封装形式主要有金属壳封装和塑料封装两大类，引脚线均为3根。

2. 结构和特性

单向晶闸管的内部结构示意图和等效电路图如图1所示。它是一种由PNPN 4层半导体材料、3个PN结、3个电极所构成的3端半导体器件，3个引出电极的名称分别为阳极A、阴极K和控制极G（又称门极）。单向晶闸管的阳极A与阴极K之间不仅具有一般晶体二极管单向导电的整流作用，而且其导通电流还直接受控于控制极G。单向晶闸管的内部电路可以等效为由一只PNP三极管和一只NPN三极管组成的复合管。

单向晶闸管的基本工作原理和特性可通过图2所示的实验电路来说明：闭合电源开关SA，单向晶闸管的阳极A通过小电珠H等接在电源正端、阴极K接在电源负端，此时管子并不导通。当按下按钮开关SB给控制极G加上合适的正向触发电压信号时，单向



（a）结构示意图

（b）等效电路图

图1 单向晶闸管的内部结构

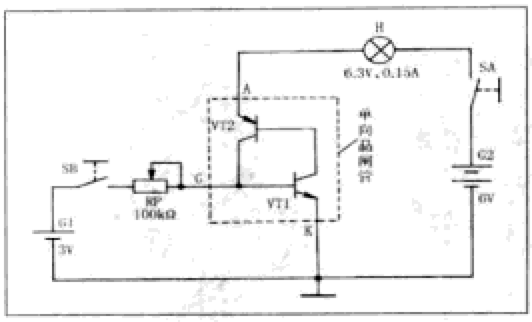
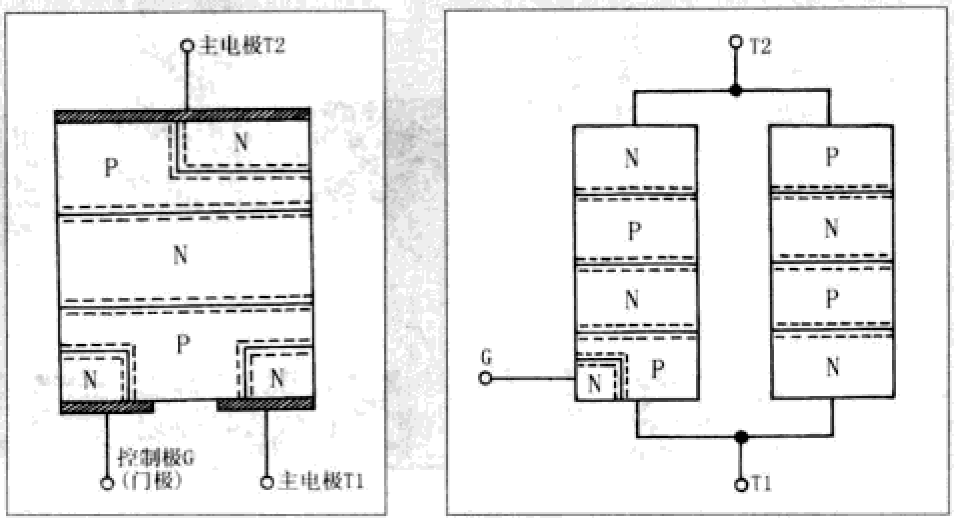


图2 单向晶闸管工作示意图

晶闸管内部的等效三极管VT1、VT2相继迅速导通，并形成强烈的正反馈而很快达到饱和导通状态，使得阳极A与阴极K之间由阻断状态转为完全导通状态，小电珠H发光。如果控制极G所加触发电压为负，则单向晶闸管不能导通。若单向晶闸管的阳极A接电源负端、阴极K接电源正端时，无论控制极G加上什么极性的电压，单向晶闸管也不能导通。

一旦单向晶闸管受触发导通之后，即使取消其控制极G的触发电压（即手松开按钮开关SB使其复位），只要在阳极A与阴极K之间仍保持正向电压，单向晶闸管就会维持导通状态，小电珠H会一直发光。只有断开电源开关SA或将阳极A的电压降低到某一临界值、或改变阳极A与阴极K之间的电压极性（如交流电过零），单向晶闸管的阳极A与阴极K之间才会由导通状态转换为断开状态，小电珠H才会熄灭。单向晶闸管一旦恢复为断开状态，即使在其阳极A与阴极K之间又重新加上正向电压，也不会再次导通，只有在控制极G与阴极K之间重新加上正向触发电压后，方可再次受触发而导通。利用这些特性，可实现直流无触点开关控制、可控整流等。

双向晶闸管是在单向晶闸管基础上研制出的一种由NPNPN 5层半导体材料所构成的3端半导体器件，其内部结构如图3所示。双向晶闸管的内部结构可以等效为两只普通单向晶闸管反向并联的组合体（即由两组PNPN 4层半导体材料“反向”组合而成），并且只用



（a）结构图 （b）等效图

图3 双向晶闸管的内部结构

一个触发控制极G，便可实现对交流电的“双向”控制。正因为如此，双向晶闸管的两个主电极不再有阴、阳之分，而是称作主电极T1（或第一阳极）和主电极T2（或第二阳极）。

双向晶闸管的最大特点是具有“双向”可控导电性能，即无论主电极T1与主电极T2之间所加电压极性是正向还是反向，也不管控制极G所加触发电压极性如何，只要满足其必须的触发电流，管子即可被触发导通而呈低阻状态。这一特点也说明，双向晶闸管可直接工作于交流电源。

双向晶闸管一旦导通，即使失去触发电压，也能继续维持导通状态。当通过主电极T1、T2的电流减小至维持电流以下或T1、T2之间电压改变极性时，双向晶闸管才会自动关断。待主电极T1、T2之间恢复正常供电后，只有重新施加触发电压，才能再次触发管子导通。如果主电极T1、T2之间所加电压是交流电，则只要改变加在控制极G上的触发脉冲的大小或时间，就可控制其导通电流相应改变。利用上述特性，可实现交流无触点开关控制、交流调压等。

3. 主要参数

晶体闸流管的参数较多，尤其是双向晶闸管的有关参数是参照单向晶闸管定义或当作单向晶闸管接入电路测试出来的，两者的有关参数含义并不完全相同，实际应用时不可混为一谈。晶体闸流管的主要参数有：额定通态电流（I_T）、通态平均电压（U_T）、维持电流（I_H）、控制极触发电压（U_{GT}，常用普通单向晶闸管的U_{GT}值一般为0.8～3V，双向晶闸管的U_{GT}值一般为1.5～3V）、控制极触发电流（I_{GT}，双向晶闸管的I_{GT}值一般为1～50mA）、擎住电流（I_L，通常擎住电流I_L要比维持电流I_H大2～4倍）、断态重复峰值电流（I_{DR}，一般小于100μA）、反向重复峰值电流（I_{RRM}，一般小于100μA）、不重复浪涌电流I_{TSM}、断态重复峰值电压（U_{DRM}）、反向重复峰值电压（U_{RRM}）等。

4. 型号命名规则

国产晶体闸流管的型号格式和意义如图4所示。其中3CT或3CTS系列的字母后面第1个空格位置是一组数字，表示额定通态电流值。斜线后的空格位置也是一组数字，表示额定电压，实际就是断态重复峰值电压。有的型号用单字母代替斜线及后面的一组数字，该字母表示断态重复峰值电压的分挡，以双向晶闸管为例，A代表断态重复峰值电压≤100V，B代表断态重复峰值电压在101～200V……

其具体分挡见表1所示。例如：图5（a）左边所示的晶体闸流管型号为3CT5／400，表示这个管子是单向晶闸管，其额定通态电流（平均值）是5A，断态重复峰值电压是400V；图5（a）中间所示的管子型号为3CTS1A，表示这是一只双向晶闸管，其额定通态电流（有效值）是1A，断态重复峰值电压是100V。

国产KP或KS系列的字母后面用3组数字或字母表示3个不同的参数，第1组数字表示额定通态电流，规定从1～1000A共分14级，其数字后面加上“A”，就是管子的标称通态电流。短线后面的1组数字表示正、反向断态重复峰值电压（即额定电压）的级别，规定从100～3000V共分20级，1000V以下每一级相差100V，1000V以上每个级差为200V，并且在型号中表示时省略掉个位数和十位数，只用它的百位数和千位数。因此1000V以下有1～10共10个级别，

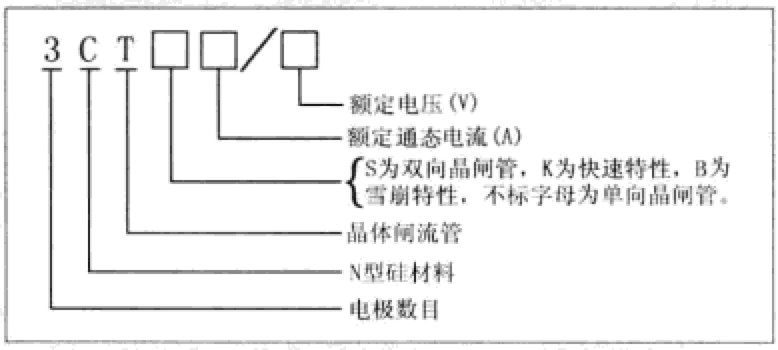
表1 国产双向晶闸管断态重复峰值电压分挡

U_{DRM} (V)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	1800	2000
分挡标志	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q

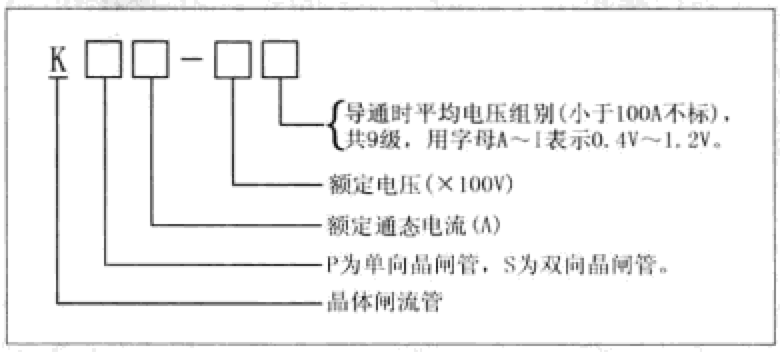
1000V以上有12～30共10个级别（没有奇数）。在识别型号时，只要将该级数乘以100，就可得到管子的标称额定电压。型号的最后用A、B、C……I共9个字母中的一个表示通态平均电压范围（小于100A不标），A表示通态平均电压$U_T \leq 0.4V$，B表示$0.4V < U_T \leq 0.5V$，以后每个字母相差0.1V，直到I时$1.1V < U_T \leq 1.2V$。例如：图5（a）右边所示的晶体闸流管型号为KS1-4，表示这个管子是双向晶闸管，其额定通态电流（有效值）是1A，断态重复峰值电压是400V。又如某晶体闸流管型号为KP100-6D，表示这是一个单向晶闸管，其额定通态电流（平均值）是100A，断态重复峰值电压是600V，通态平均电压在0.6～0.7V。

国外晶体闸流管的型号，大都是按各公司自己的命名方式定型号，可谓五花八门，其实物举例如图5（b）所示。常见的单向晶闸管有MCR100-8、BT169D、2N6564、SFOR1、CR02AM8、2P4M、SF5等，双向晶闸管有BCR1AM、MAC97A6、TLC336A、BTA06-600等。但这些型号命名规则大多数与同类晶体三极管一致，这里不再详细介绍。

无论是国产晶体闸流管还是进口（包括外资企业生产）的晶体闸流管，从型号上都只能反映出几个主要的参数，其他许多参数却是型号中找不到的。对那些不能从型号标志上直接看出来的参数，就需要到产品说明书或半导

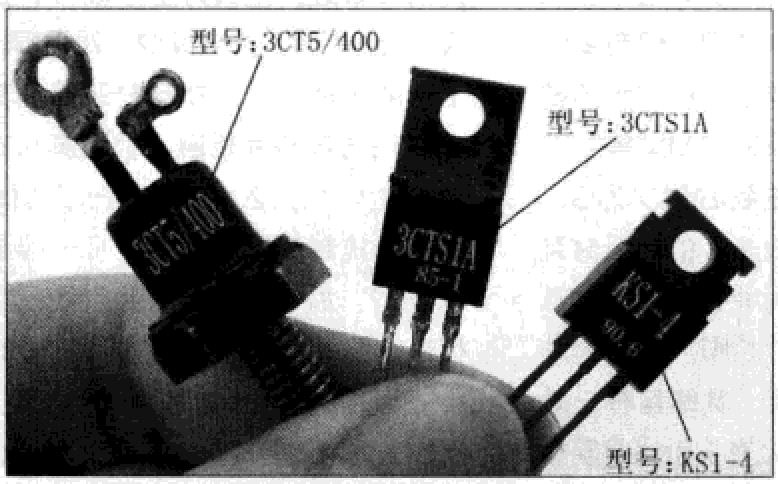


(a) 3CT/3CTS系列

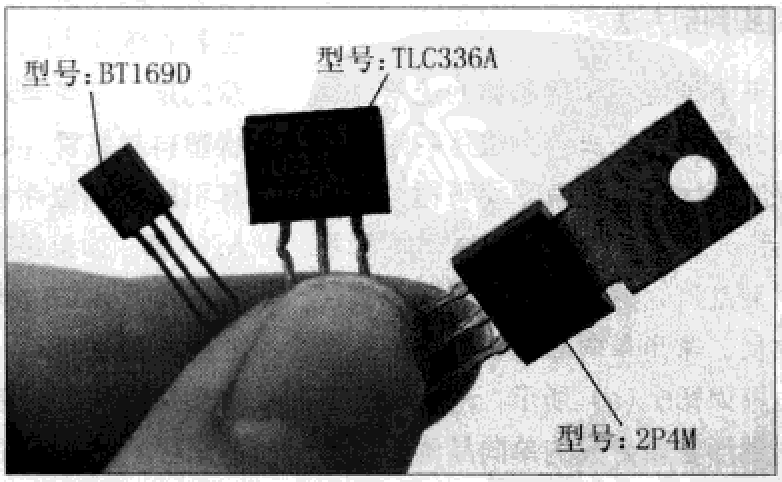


(b) KP/KS系列

图4 国产晶体闸流管的命名规则



(a) 国产管

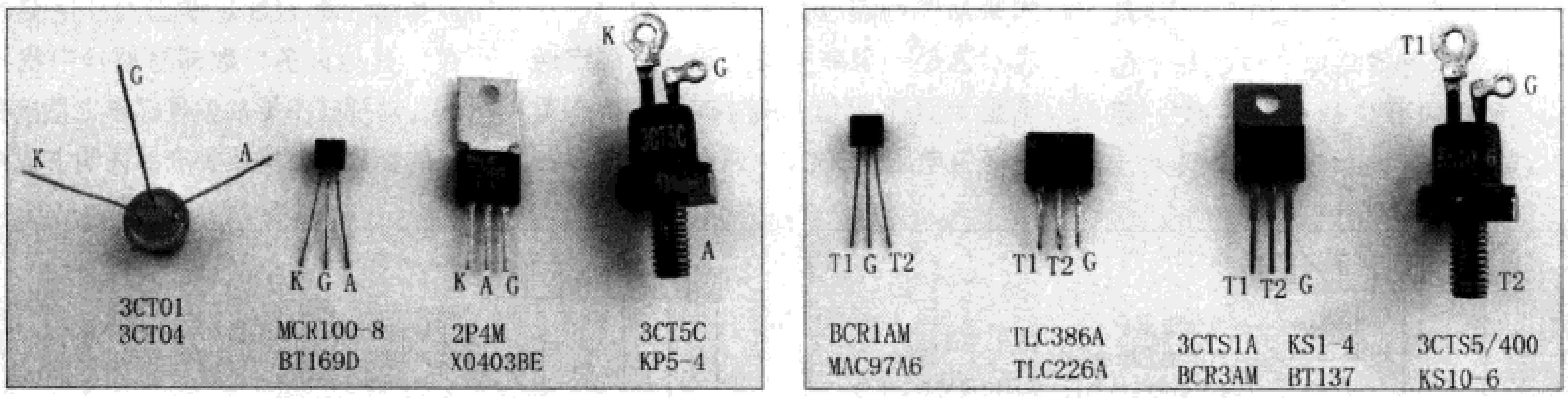


(b) 进口管

图5 常用晶体闸流管的型号标注实例

表2 常用中、小功率晶体闸流管的型号和主要参数

类别	型号	额定通态电流 I_T（A）	不重复浪涌电流 I_{TSM}（A）	断态重复峰值电压 U_{DRM}、U_{RRM}（V）	维持电流 I_H（mA）	通态平均电压 U_T（V）	控制极触发电压 U_{GT}（V）	控制极触发电流 I_{GT}（mA）
单向晶闸管	3CT1	1		30～3000	<20	1.2	<2.5	<20
	3CT5	5			<40		<3.5	<50
	KP1-4	1	20	400	<20	1.2	≤2.5	3～30
	MCR100-6	0.8		400			0.8	0.03～0.06
	MCR100-8			600				
	2P4M	2		400				0.01～0.03
	CR02AM8	0.3	10	400	3	1.6	0.8	0.1
	2N6564	0.5	6	300	5	1.7	0.8	0.2
	2N6565			400				
双向晶闸管	3CTS1	1	≥10	100～1500	<10	≤2.2	≤3	≤50
	3CTS2	2	≥20		<15			
	3CTS3	3	≥30		<30			
	3CTS4	4	≥33.6		<45			
	3CTS5	5	≥42		<60			
	MAC97A4	0.6	8.0	400			2～2.5	4
	MAC97A6			600				
	BCR1AM	1	10	200～600	25	1.6	2	5～10
	BCR3AM	3	30			1.5	1.5	30
	TLC336A	3		600				
	BT134-600E	2		600	<40		1.5	20～25
	BTA06-600C	6		600				10～45



(a) 单向晶闸管　(b) 双向晶闸管

图6 常用晶体闸流管的引脚识别

体手册中去查找。表2给出了电子制作中经常用到的普通中、小功率晶体闸流管的型号和主要参数，供参考。

5. 引脚判别方法

笔者通过对常用晶体闸流管（包括国外型号）引脚排列位序的对比，发现它们大体上都有规律可循（如图6所示），这不像普通晶体三极管那样“混乱”，这对快速识别各引脚带来方便。常用单向晶闸管各引脚的排列位序如图6（a）所示，对于国产的金属圆形管帽封装的单向晶闸管，其管帽下有一个小凸口，把引脚对着自己，从凸口开始沿顺时针方向数，依次为阴极K、控制极（门极）G和阳极A。对于小型半圆柱状塑料封装管，其3个引线脚呈“一字形”排列，面对标有型号的一面，将电极引脚向下，从左到右依次为K、G、A脚。但需要注意的是，有些国外型号的小型半圆柱状塑料封装管（如CR02AM型等），其引脚排列位序从左到右依次为G、A、K脚。如果是带散热片的塑料封装管，其阳极A与散热片相通，引线脚从左到右依次为K、A、G脚。对于大功率金属螺栓式封装管，其螺丝杆一端是阳极A，另一端的大直头引线是阴极K，而小直角弯头引线是控制极G。

常用双向晶闸管各引脚的排列位序如图6（b）所示，对于小型半圆柱状塑料封装管，面对标有型号的一面，从“一字形”排列的引线脚左边开始至右边，依次为主电极T1、控制极（门极）G、主电极T2。对于不带和带有散热片的方形塑料封装管，其主电极T2与散热片相通，引线脚从左到右依次为T1、T2、G脚。对于大功率金属螺栓式封装管，其螺丝杆一端是主电极T2，另一端的大直头引线是主电极T1，而小直角弯头引线是控制极G。

当遇到型号、封装和引脚排列不熟悉的晶体闸流管时，就要查阅有关资料或用万用表检测辨认后再接入电路。

用好晶体闸流管

◎张晓东

晶体闸流管（简称晶闸管）的电路符号如图1所示。单向晶闸管的电路符号很像一个普通晶体二极管的符号，不同处是在原晶体二极管符号的负极旁边又引出了一条斜线，这就是单向晶闸管的控制极（门极）G。在正极一端引出的电极，就是单向晶闸管的阳极A，在负极一端引出的电极，就是单向晶闸管的阴极K。双向晶闸管的符号更加形象，将两个“晶体二极管”符号反向并联起来，表示控制极G能够通过主电极T1、T2，对电流实现“双向”控制。

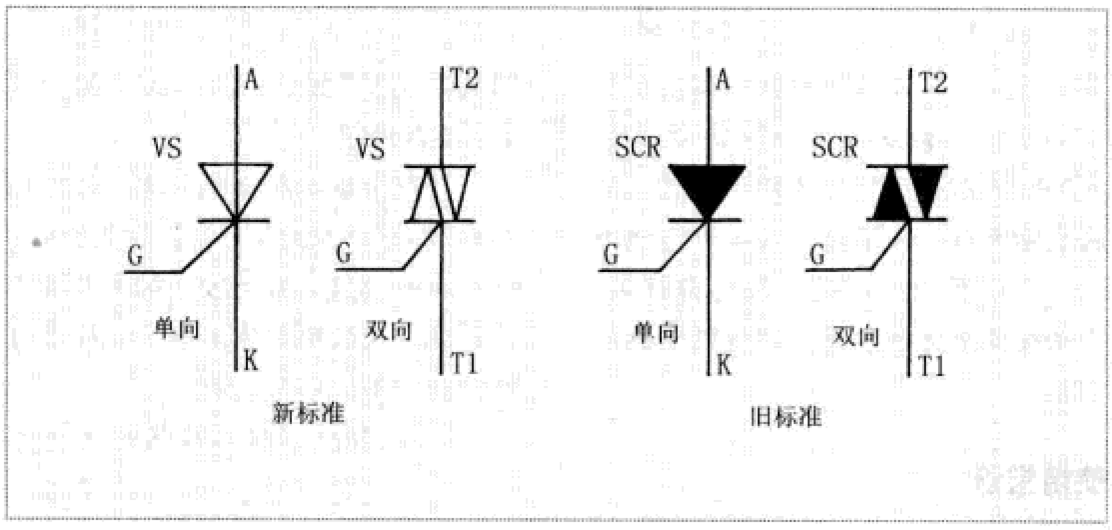


图1 晶体闸流管的符号

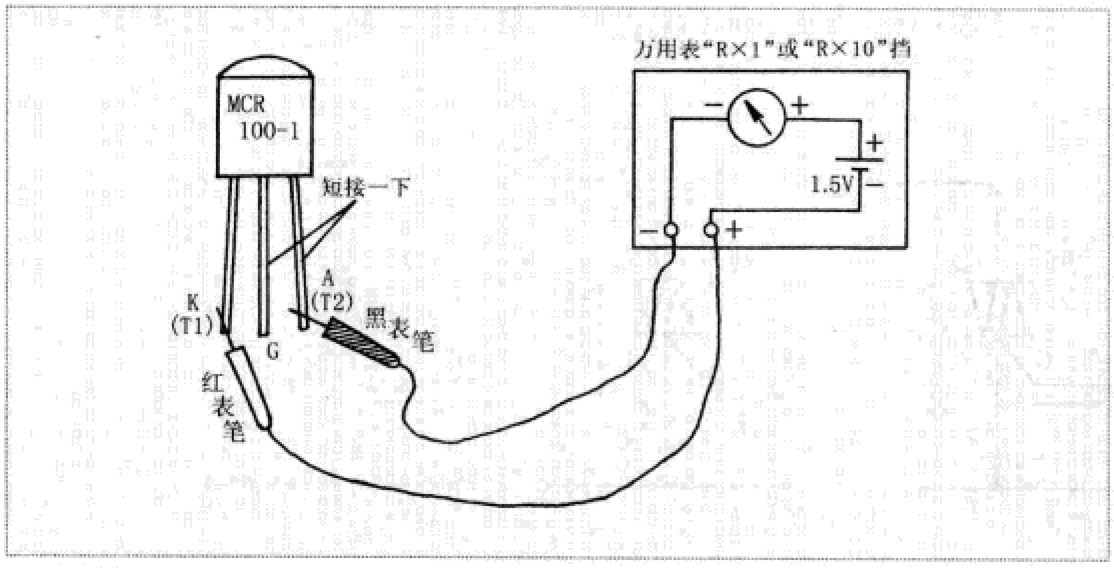


图2 检测性能的电路之一

简易测试方法

1. 区分管子类型和引脚电极。将指针式万用表拨至“R×1”或“R×10”电阻挡，分别测试每两个引脚间的正、反向电阻值。若正、反向测量指针均不动，可能所测的两个引脚是阳极A、阴极K或是控制极G、阳极A（对单向晶闸管而言），也可能是主电极T2、主电极T1或是主电极T2、控制极G（对双向晶闸管而言）。若其中有一次测量指示数值为几十至几百欧，则必为单向晶闸管，且红表笔所接为阴极K，黑表笔所接为控制极G，剩下的即为阳极A。若正、反向测量指示数值均为几十至几百欧，则必为双向晶闸管，并且其中必有一次阻值稍大（注意：有的管子正、反向电阻仅相差1～2Ω，检测时应仔细区分）。阻值稍大的一次，红表笔所接为主电极T1，黑表笔所接为控制极G，余下的即为主电极T2。

由于塑料封装并带有散热片的单向晶闸管，其阳极A通常与散热片相连，而双向晶闸管的散热片通常与主电极T2相连，据此也可以尽快确定出所连电极的位置。此外，由于万用表“R×1”电阻挡电流较大，测量时间应尽量短些，同时也应注意万用表内电池的容量是否充足，以便能准确测量。

2. 检测触发性能并判断其好坏。借用指针式万用表内部的1.5V干电池，可对晶体闸流管的性能进行简单的测试。按照图2所示，将万用表拨至“R×1”或“R×10”电阻挡，黑表笔接晶闸管的阳极A、红表笔接阴极K——这相当于给被测管加上了正向工作电压，此时万用表的表针指示应为无穷大。再用黑表笔接触控制极G（黑表笔移动时不能离开阳极A）,或用一段电线、小螺丝刀等金属物将控制极G与阳极A短接一下（短接后即断开），万用表内部1.5V干电池就会给被测管的控制极G施加上一个正向触发电流。如果表针向右偏转并保持在十几欧姆处，则说明被测管子性能良好；如果表针返回到零位，则说明管子触发性能不良或已经损坏。

测试双向晶闸管，万用表的两表笔应分别接主电极T1、T2，并且对

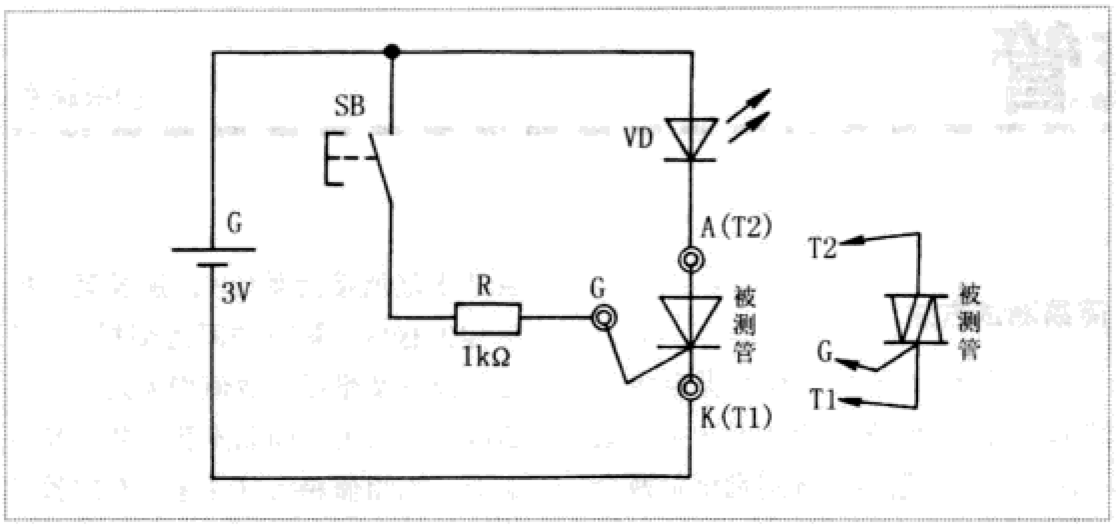


图3 检测性能的电路之二

调两表笔位置、分两次进行上面的操作——即将接主电极T2的黑表笔（或红表笔）与控制极G短接一下。对于触发性能良好的管子，万用表的表针均应向右偏转并保持在十几欧姆处。但需要注意的是，在检测额定通态电流为3A以内的小功率管子时，可选择万用表的“R×10”挡，对于3A以上的管子，应选“R×1”挡，否则难以维持导通状态。

笔者多年前曾经制作过一个晶体闸流管快速鉴别器，其电路如图3所示。将待测的单向（双向）晶闸管的3个引脚分别插入标有G、A（T2）、K（T1）的3个插孔内，发光二极管VD应不亮。按动一下自复位按钮开关SB，如果VD立即点亮，说明被测管的工作正常，是合格品。反之，如果尚未按动SB时，VD已经点亮，说明管子已被击穿（或管脚插错）；如果按动SB后，随着SB的复位，VD熄灭，说明被测管触发保持性能不良，均不能投入使用。整个快速鉴别器电路焊装在一个体积合适的塑料盒内。VD可用普通红色发光二极管，如用2.5V、0.3A小电珠，效果更好。R用RTX-1/8W型碳膜电阻器，SB用6mm×6mm小型轻触式按键开关。晶体闸流管的管脚插孔可用ϕ0.4～ϕ0.6mm的裸铜丝，在ϕ0.8mm的小铁钉上密绕十几圈，然后脱胎而成。G用两节5号干电池串联（3V）而成。本机不设电源开关，用毕拔掉晶体闸流管，电源即自动被切断。

使用常识

1. 晶体闸流管在实际应用时，应注意以下3点：

一是要根据负载电源类型确定选用何种类型的晶体闸流管。显然，直流电路应选用单向晶闸管，交流电路应选用双向晶闸管。虽然可以把两个单向晶闸管反向并联后用在交流电路中，但是不如使用双向晶闸管方便、经济。同样，双向晶闸管也可以用于直流电路中，但是其过载能力和触发灵敏度均不如单向晶闸管。

二是要根据负载电源电压、电流来选择不同参数的晶体闸流管。由于晶体闸流管一旦过载烧毁便不可恢复，因此在选择峰值电压、额定通态电流等极限参数时都要留有一定余量。一般峰值电压参数应宽于实际工作电压2～3倍，额定通态电流应是实际电流的1.2～2倍。比如，在电子调光灯电路中，广泛使用MAC97A6双向晶闸管，其反向峰值电压600V、额定通态电流0.6A，多用于控制交流220V、≤60W（0.27A）的照明灯，如果灯泡功率超过100W，这种管子就有可能被烧毁。

三是为确保晶体闸流管可靠地触发导通，实际触发电流应为额定触发电流的3～5倍，并且要求触发波形前沿陡峭，以缩短晶体闸流管切换电流的时间，减少管子发热量。

2. 单向晶闸管在参数表或合格证中给出的额定通态电流I_T值是指平均值，可理解为允许管子连续通过正弦50Hz半波（180°导通角）电流的最大平均值，而双向晶闸管给出的

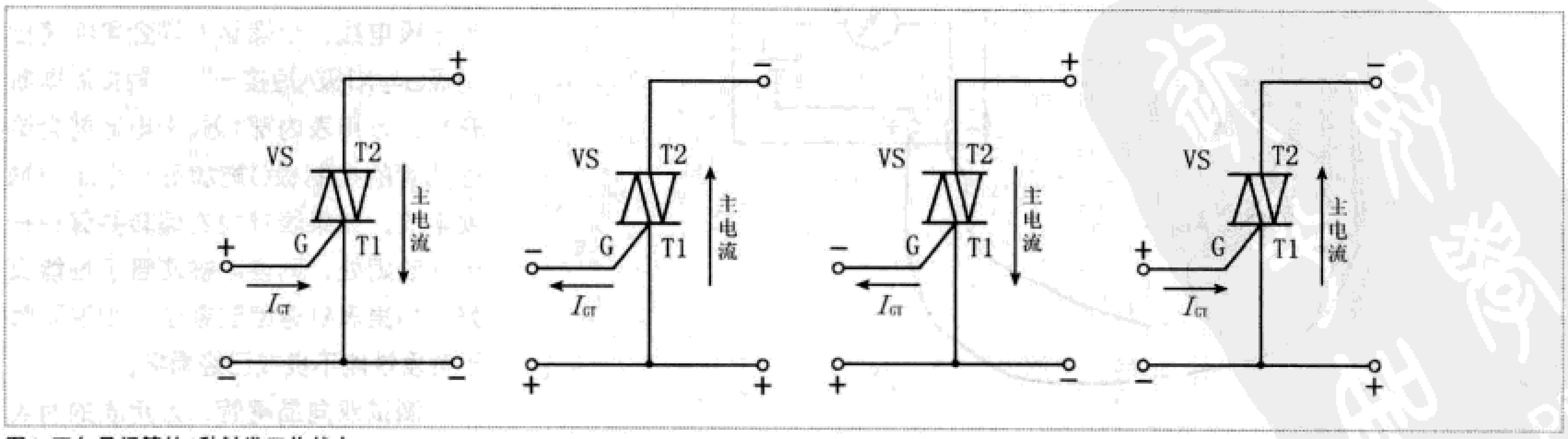
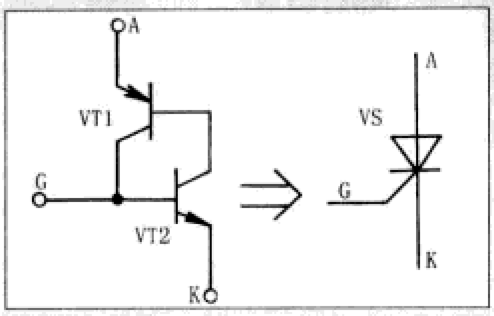


图4 双向晶闸管的4种触发工作状态

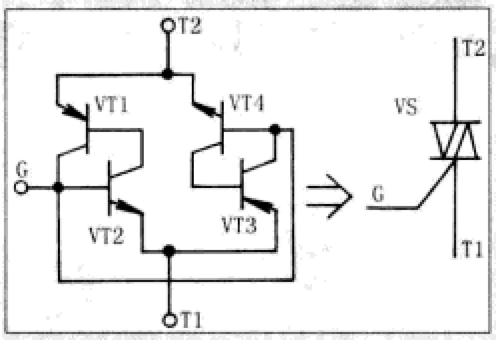
额定通态电流IT值是指有效值，可理解为允许管子连续通过正弦50Hz全波（360° 导通角）电流的最大有效值。两者含义不同，使用时应注意区分。通过计算，在单向晶闸管导通角为180° 时，50Hz正弦电流的有效值是其平均值的1.57倍，如一只单向晶闸管的I_T＝3A，则允许通过电流的有效值为3A×1.57＝4.71A。若管子导通角改变，则允许通过的平均电流也要相应变化。另外，通过有关计算得知，额定通态电流为I_T（有效值）的双向晶闸管，可代替两只反向并联的额定电流值（指单管平均值）为0.45×I_T的单向晶闸管。

3. 双向晶闸管是为了实现交流功率控制而开发出的一种“双向”可控交流开关器件，其最大特点是：不论控制极G加上正触发电压还是负触发电压，只要满足其必须的触发电流，均能触发双向晶闸管在正、反两个方向导通，其各种触发工作状态如图4所示。也就是说，我们只要选择图中4种触发状态中的任何一种触发方式，均可触发双向晶闸管导通。但实践证明，图左边的两种触发方式控制灵敏度最高，最右边的触发方式控制灵敏度最低。实际应用时，应尽可能采用触发控制灵敏度高的方式，同时还应使触发信号的电压和电流尽可能的高一些和大一些。

4. 在交流220V（或380V）电路中使用晶体闸流管时，应根据管子所控负载的不同采取必要的安全保护措施。例如，对于电容性负载，应注意加装快速熔断器（保险丝）或接入合适的过电流保护电路。一般快速熔断器的额定电流按晶体闸流管额定通态电流的1.5倍来选择。对于电感性负载，应注意在主电极两端并联RC吸收电路（或压敏电阻器）等，以避免电感性负载在电源通、断瞬间所产生的自感电动势造成管子的误导通和击穿损坏。通常RC吸收电路的电阻器取值一般为100Ω左右，电容器容量取值在0.1μF左右。



（a）单向晶闸管



（b）双向晶闸管

图5 模拟晶体闸流管

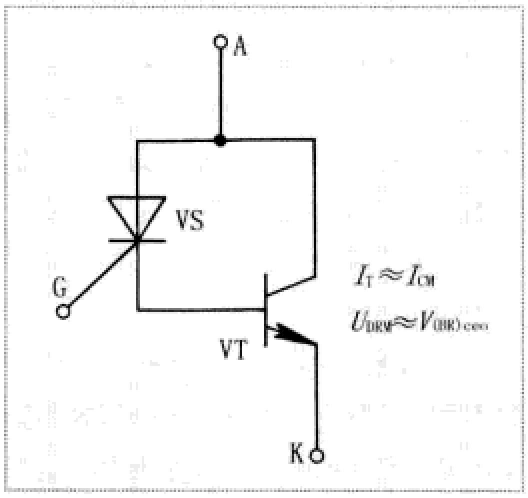


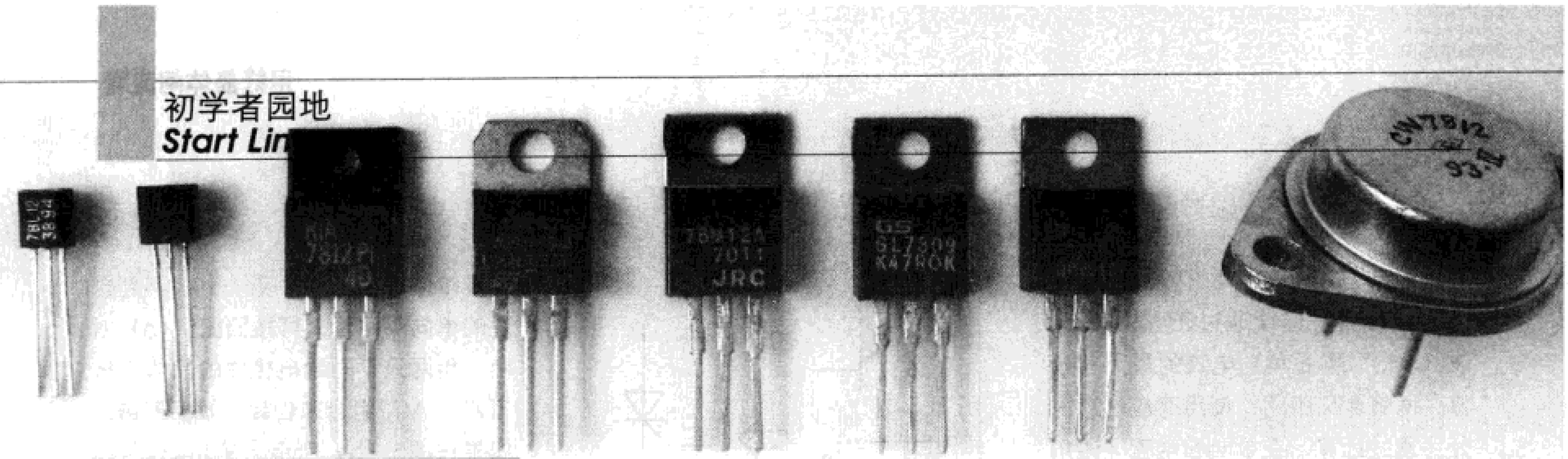
图6 增大单向晶闸管功率的方法

5. 晶体闸流管的代换方法与普通晶体三极管一样，应遵循代换管与原管“类型相同、特性相近、外形相似”三项基本原则。一般应事先根据所带负载的功率核实原管子的耐压和额定通态电流，同时判准新器件电极的极性是否与原来的一致。因工作状态不同，单向晶闸管不能直接替代双向晶闸管。

6. 业余电子爱好者在进行电子制作或维修时，如果手头一时找不到合适的单向晶闸管，可按照图5（a）所示，用两只不同导电极性的晶体三极管VT1、VT2组合来代替，效果不错。如果按图5（b）所示，采用4只晶体三极管——两只PNP型晶体三极管VT1和VT3、两只NPN型晶体三极管VT2和VT4进行组合，即等效为一只双向晶闸管。实际应用时注意：晶体三极管一定要采用漏电流极小的硅管，其极限参数应与所需晶体闸流管的极限参数对应相当。例如：用8550和8050（集电极最大允许电流I_{CM}＝1.5A，集电极－发射极击穿电压$V_{(BR)ceo}$＝25V）硅中功率晶体三极管组合成的单向晶闸管，其额定通态电流$I_T \approx 1.5$A，断态重复峰值电压$U_{DRM} \approx 25$V。

7. 有时需要使用大功率单向晶闸管，而手头又没有现成的，怎么办？可按图6所示，将一只大功率晶体三极管与一只小功率单向晶闸管组合起来代替。图中小功率单向晶闸管串接在晶体三极管的基极上，其控制极仍作为大功率晶闸管的控制极G，用晶体三极管的集电极作为大功率晶闸管的阳极A、发射极作为阴极K。只要触发控制极G，即可使晶体三极管导通，它的工作方式显然与单向晶闸管相同。应当注意，这种组合大功率单向晶闸管的额定通态电流可认为等同于晶体三极管的集电极最大允许电流（即$I_T \approx I_{CM}$），断态重复峰值电压等同于晶体三极管的集电极-发射极击穿电压（即$U_{DRM} \approx V_{(BR)ceo}$）。

8. 晶体闸流管与普通晶体管一样，受温度影响很大，温度过高将容易产生误动作，甚至烧毁器件。实际应用时，大、中功率管一定要按有关技术要求加装上足够大的散热器；小功率管虽然一般不必加散热器，但在安装时应注意采取良好的通风散热措施。



常用元器件的识别与使用（十二）

◎张晓东

灵活易用的三端集成稳压器

三端集成稳压器是一种能够将不稳定的直流电压变为稳定的直流电压的串联调整式3引脚集成电路。顾名思义，三端集成稳压器只有3个引线脚——即不稳定电压输入端、稳定电压输出端（接负载）和公共接地端。用分立元器件构成的串联调整式稳压电路，具有组装麻烦、可靠性差、体积大等缺点。而三端集成稳压器是将稳压用的功率调整三极管、取样电阻器以及基准稳压、误差放大、启动和保护（过热、过流保护）等电路全部集成在单片晶体上制作而成的，具有体积小、性能稳定可靠、使用方便和价格低廉等优点，所以得到了广泛应用，并成为推动电子设备中稳压器向通用化、标准化发展的先行兵。

目前，在各种中、小功率的稳压电源中，要数三端集成稳压器应用最为普遍。业余电子制作中将220V交流电变换成为各种低压直流电，要获得满意的性能、完善的保护电路、简洁的安装效果，同样离不开三端集成稳压器。

如何识别三端集成稳压器

1. 外形和种类

三端集成稳压器的封装采用晶体三极管的标准封装，其外形与晶体三极管完全一样。常用三端集成稳压器的实物外形如图1所示。其外形封装形式主要有小型全塑料封装（TO-92或S-1）、带散热片的塑料封装（TO-220或TO-202、S-7）、金属壳封装（TO-3或F-2）3大类，引出脚均为3根。塑料封装的三端集成稳压器具有安装容易、价格低廉等优点，因此在常见电路中应用最普遍。

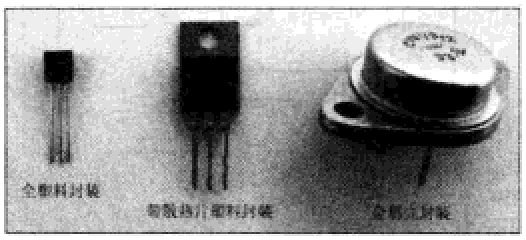


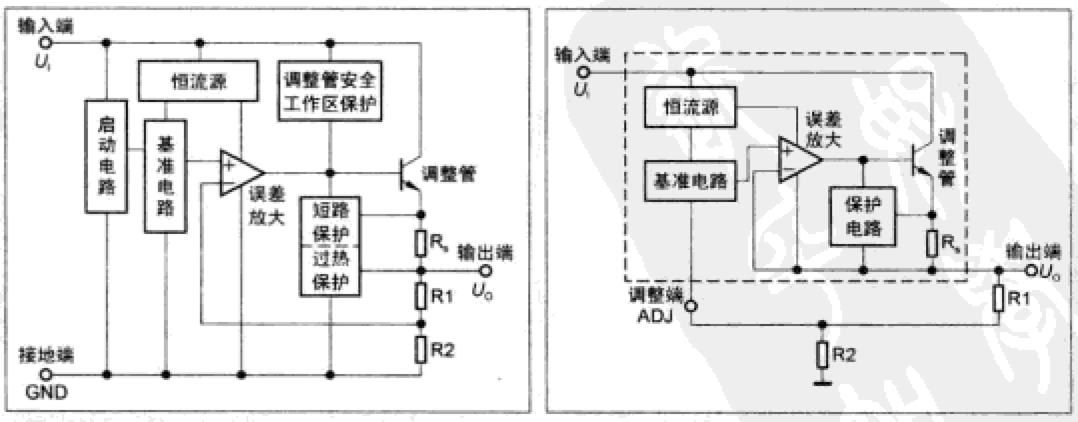
图1 常用三端集成稳压器的实物外形图

三端集成稳压器按输出电压极性的不同，可分为正电压输出稳压器和负电压输出稳压器两类，按输出电压是否可调分类，有固定输出稳压器和可调输出稳压器两种。固定输出稳压器的输出电压取决于内部取样电阻的数值，使用时不能再调节，故有时显得不方便，可调输出稳压器可通过外接电阻器，在较大范围内调节输出电压，其特点是稳压精度高、输出纹波小，整体性能优于固定式，被称为第2代三端集成稳压器。

2. 构成及特点

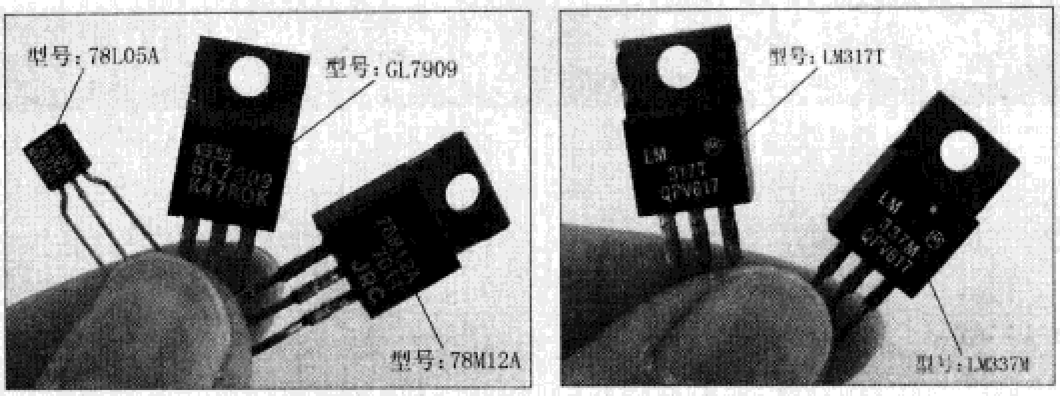
常用串联调整式稳压电路的特点是调整管与负载串联并工作在线性区域，其电压调整率高、负载能力和纹波抑制能力强、电路结构简单。因此，包括三端集成稳压器在内的许多集成稳压器都是在串联调整式稳压电路的基础上开发生产而成。

固定式三端集成稳压器的内部电路方框图如图2（a）所示，它与一般分立件组成的串联调整式稳压电源十分相似，不同之处在于增加了启动电路、恒流源以及保护电路。为了使稳压器能在比较大的电压变化范围内正常工作，在基准电压形成和误差放大部分设置了恒流源电路，启动电路的作用就是为恒流源建立工作点。RS是过流保护取样电阻，R1、R2组成电压取样电路，实际



（a）固定式正输出　（b）可调式正输出

图2 三端集成稳压器内部电路方框图



（a）输出固定式　（b）输出可调式

图3 常用三端集成稳压器的型号标注实例

上它们由一个电阻网络构成，在输出电压不同的稳压器中，采用不同的串、并联接法，以形成不同的分压比。取样电压通过误差放大之后，去控制调整管的工作状态，以形成和稳定一系列预定的输出电压。

可调式三端集成稳压器的内部电路方框图如图 2（b）虚线框内所示。与固定式稳压器相比，可调式稳压器把内部的误差放大器、保护电路等的公共端改接到了输出端，所以它不再有接地端。同时，不内设电压取样电路，增加了专门用于外接取样电路的输出电压调整端 ADJ，将内部基准电压（一般为 1.25V）加在误差放大器的同相输入端和电压调整端 ADJ 之间，并由一个超级恒流源（一般为 50μA）供电。实际使用时，调整端 ADJ 采用悬浮式，即通过外接的取样分压电阻器 R1、R2 来设定输出电压。输出电压大小可用公式 $U_O=1.25(1+R2/R1)$ 来计算。显然，如果将调整端 ADJ 直接接地，则输出端 U_O 会输出稳定的 1.25V 电压。

需要说明的是，图2所示的是正电压输出三端集成稳压器内部电路的方框图。对于相应的负电压输出三端集成稳压器，其内部构成和工作原理与正电压输出三端集成稳压器基本相同，所不同的是调整管被接成了集电极输出型。

3. 主要参数

三端集成稳压器的参数包括极限参数和工作参数两方面。由于各生产厂家的定义不完全一致，所以比较杂乱。在一般应用时，电子爱好者只要关注输出电压 U_O、最大输出电流 I_{Omax}、最小输入输出电压差 $U_{Imin}-U_O$、最大输入电压 U_{Imax} 和最大耗散功率 P_{Omax} 等主要参数即可。

（1）输出电压（U_O）。这是指三端集成稳压器标称的直流输出电压值。对于固定输出的稳压器，它是偏差一般不超过 ±5％ 的某一常数。对于可调输出的稳压器，它是指某一电压范围。

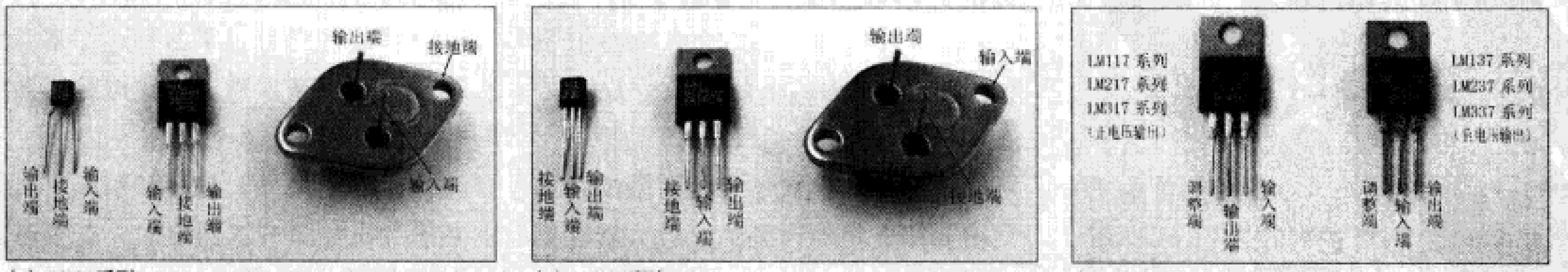
（2）最小输入、输出电压差（$U_{Imin}-U_O$）。这是指保证三端集成稳压器正常工作时，所必须的最小输入电压 U_{Imin} 与输出电压 U_O 的差值。当三端集成稳压器的输入、输出电压差低于该值时，输出纹波变大、稳压性能变差，甚至可能导致稳压器不能工作。此参数与输出电压之和，等于最小输入电压 U_{Imin}。

（3）最大输出电流（I_{Omax}）。这是指三端集成稳压器在安全工作的条件下，所能够输出的最大电流值。实际应用时，要选用 I_{Omax} 大于（至少等于）电路最大工作电流的三端集成稳压器，并按要求采取良好的散热措施。

（4）最大耗散功率（P_{Omax} 或 P_M）。这是指三端集成稳压器内部电路所能承受的最大功耗，它与使用环境温度、外加散热片（器）的尺寸大小等有关。例如，对于最大输出电流是 1.5A 的 TO-220 封装的稳压管，在不加散热片时最大耗散功率为 2W，加上 200mm×200mm×4mm 散热片后，最大耗散功率可达 15W。稳压器实际输出功率为其输出电流乘以稳压器自身的电压降，要求不得超过 P_{Omax} 这一极限值，以免造成稳压器自动保护停止工作或损坏。一种直观的检查方法是，稳压器在稳定工作时，其外壳不应烫手。

4. 型号命名规则

国内外各厂家生产的普通固定式三端集成稳压器，基本上都被命名为78XX系列（正电压输出）和79XX系列（负电压输出），其实物如图3（a）所示。其中“XX”用数字直接表示三端集成稳压器的输出电压数值，单位为V。例如：7806表示输出电压为+6V，7924表示输出电压为-24V。此外，在78XX或79XX的前面和后面还有一些英文字母，如CW78XXC、TA78XXAP、MC79XX等。前面的字母



（a）78XX 系列　（b）79XX 系列　（c）输出可调系列

图4 常用三端集成稳压器的引脚识别

表1 常用三端集成稳压器的型号和主要参数

类别	型号	输出电压 U_O (V)	最大输出电流 I_{Omax} (A)	最大输入电压 U_{Imax}(V)	最小输入输出电压差 U_{Imin}-U_O (V)	最大输入、输出电压差 U_{Imax}-U_O (V)	电压调整率SV (%/V或mV)	电流调整率 SI(%或mV)	最大耗散功率 POmax (W)
固定式集成稳压器	LM7805	5±0.2	1.5	35	2.0	30	50mV		15
	LM7812	12±0.5	1.5	35	2.0	23	120mV		15
	LM7815	15±0.6	1.5	35	2.0	20	150mV		15
	LM7905	5±0.2	1.5	-35	-1.1	-30	15mV		15
	LM7912	-12±0.5	1.5	-40	-1.1	-28	5mV		15
	LM7915	-15±0.6	1.5	-40	-1.1	-25	5mV		15
	CW78L05C	5±0.25	0.1	30	2.0	25	10mV	5mV	0.7
	CW78M09C	9±0.45	0.5	35	2.0	26	40mV	80mV	7.5
	CW7812C	12±0.60	1.5	35	2.0	23	60mV	120mV	15
	CW7912C	12±0.60	1.5	-35	-1.1	-23	5mV	120mV	15
可调式集成稳压器	LM117/217	1.25～37	1.5		3	40	0.01mV	0.3mV	15
	LM317L	1.25～37	0.1		3	40	0.01mV	0.3mV	0.7
	LM317M	1.25～37	0.5		3	40	0.01mV	0.3mV	7.5
	LM317T	1.25～37	1.5		3	40	0.01mV	0.5mV	15
	LM137/237	-1.25～-37	1.5		-3	-40	0.01mV	0.3mV	15
	LM337T	-1.25～-37	1.5		-3	-40	0.01mV	0.3mV	15
	CW317M	1.2～37	0.5	40	3		0.04%/V	0.5%	7.5
	CW317T	1.2～37	1.5	40	3		0.04%/V	0.5%	15
	CW337M	-1.2～-37	0.5	-40	-3		0.04%/V	0.5%	7.5
	CW337T	-1.2～-37	1.5	-40	-3		0.04%/V	1%	15

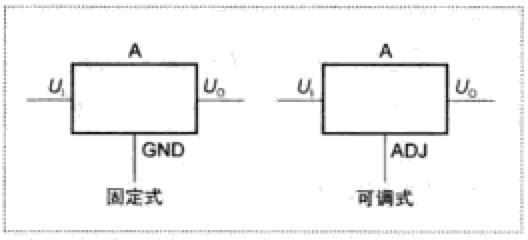


图5 三端集成稳压器的符号

称为“前缀”，通常为生产国家或厂家（公司）的代号，如“CW”表示中国制造的稳压器，“TA”表示日本东芝公司的产品，“AN”是日本松下公司的产品，“MC”是美国摩托罗拉公司的产品。后面的字母称为“后缀”，用来表示输出电压容差和封装形式等。通常不同生产厂家（公司）对三端集成稳压器型号后缀所用字母的含义和定义各不相同。不过，这对我们实际使用影响不大。

78XX系列正输出三端集成稳压器的输出电压有11种，依次为：5V、6V、7V、8V、9V、10V、12V、15V、18V、20V、24V。79XX系列负输出三端集成稳压器的输出电压同样有11种，依次为：-5V、-6V、-7V、-8V、-9V、-10V、-12V、-15V、-18V、-20V、-24V。这两种系列的产品，按其最大输出电流又可分为100mA、500mA、1.5A、3A、5A共5挡，其标志方法是在型号中表示电压数字的“XX”前面加上相应的字母，即L=100mA、M=500mA、T=3A、H=5A，不加字母表示1.5A。例如：78L05三端集成稳压器的最大输出电流为100mA，79M12的最大输出电流为500mA，7824的最大输出电流为1.5A。

不同厂家生产的输出可调式三端集成稳压器，型号命名方法无明显规律，封装也各异。电子制作中经常用的正电压输出可调式三端集成稳压器型号有LM117、LM217、LM317、CW317系列等，与之相对应的负电压输出可调式三端集成稳压器型号是LM137、LM237、LM337和CW337系列，其实物如图3（b）所示。

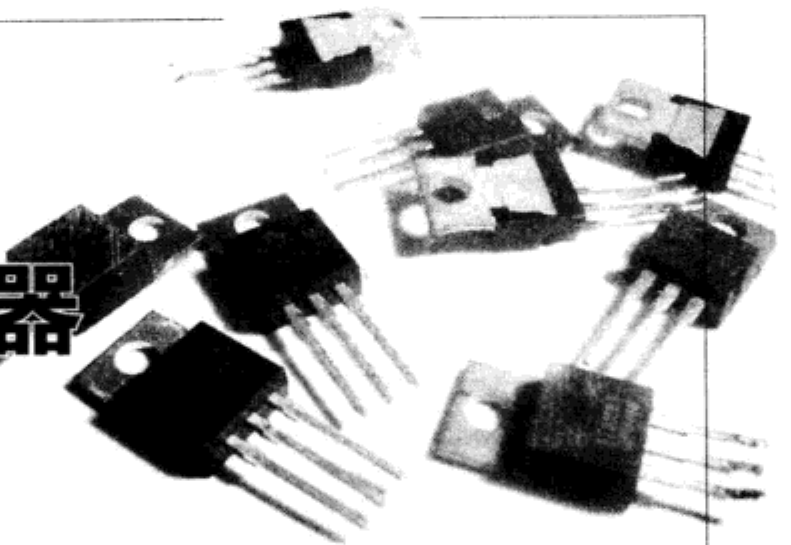
一般情况下，我们从产品型号上所能够获得的参数信息是有限的。如果需要知道其他详细的参数，就需要到产品说明书或集成电路手册中去查找。表1给出了电子制作中经常用到的几种三端集成稳压器的型号和主要参数，供参考。

5. 引脚判别方法

常用三端集成稳压器的引脚排列位序如图4所示。笔者通过测试发现：78XX系列（正电压输出）稳压器的散热片或金属外壳，均与它的接地端相通；79XX系列（负电压输出）稳压器的散热片或金属外壳，均与它的输入端相通。而LMX17、CWX17系列（正电压输出）稳压器的散热片均与它的输出端相通；LMX37、CWX37系列（负电压输出）稳压器的散热片均与它的输入端相通。对于全塑料封装的三端集成稳压器，其中间引脚的名称可对比相应系列的带散热片的塑料封装管确定出来。掌握了这些基本规律，可给快速识别三端集成稳压器的各引脚带来方便。

当遇到型号、封装和引脚排列不熟悉的三端集成稳压器时，就要查阅厂家说明书或有关资料，辨清引脚名称后再接入电路。

如何使用三端集成稳压器



◎张晓东

简易测试方法

用万用表电阻挡（R×1k挡），测量三端集成稳压器各引脚之间的电阻值，并与附表给出的正常值（用MF50型指针式万用表测得）进行比较，若相差不大，则说明被测稳压器性能良好。若引脚间阻值与正常值相差较大，甚至阻值为“0”或“∞”，则说明被测稳压器性能不良或已损坏。

需要说明的是：由于使用不同的万用表，在测试不同生产厂家、不同稳压值的同一系列三端集成稳压器时，各引脚间的电阻值均有较大差异，所以附表给出的数据仅供读者在测试时对照参考。实际中，要比较准确地判断一个三端集成稳压器的好坏，不妨先用万用表测量出同一厂家生产的型号完全相同的好稳压器的各引脚间电阻值，并参照附表所示列出参照表，然后用相同的万用表测量待测稳压器各引脚间的电阻值进行对比，若出入较大，则说明待测稳压器有问题。

还可采用加电的办法对三端集成稳压器进行测试。因为固定式三端集成稳压器正常工作时，在输出端应输出与其稳压值相同的电压，所以采用给输入端加直流电、测量输出端电压的方法，可以更准确地判断出被测稳压器的好坏。具体方法：按照图1（a）所示，只要在78XX系列稳压器的输入端和接地端加上直流电压，注意极性，并且电压值应比稳压器的稳压值至少高2V，但不要超过30V。将万用表拨至直流电压挡，测量稳压器输出端与接地端之间的电压，若数值与标称稳压值相同，则证明此稳压器是好的。此法还可测试出由于型号不清而不知其具体稳压值的三端固定稳压器的输出电压。对于LM317系列（包括LM117、LM217系列）的可调式三端集成稳压器，测试电路如图1（b）所示，如果万用表读数为1.25V左右，则说明此稳压器是好的。

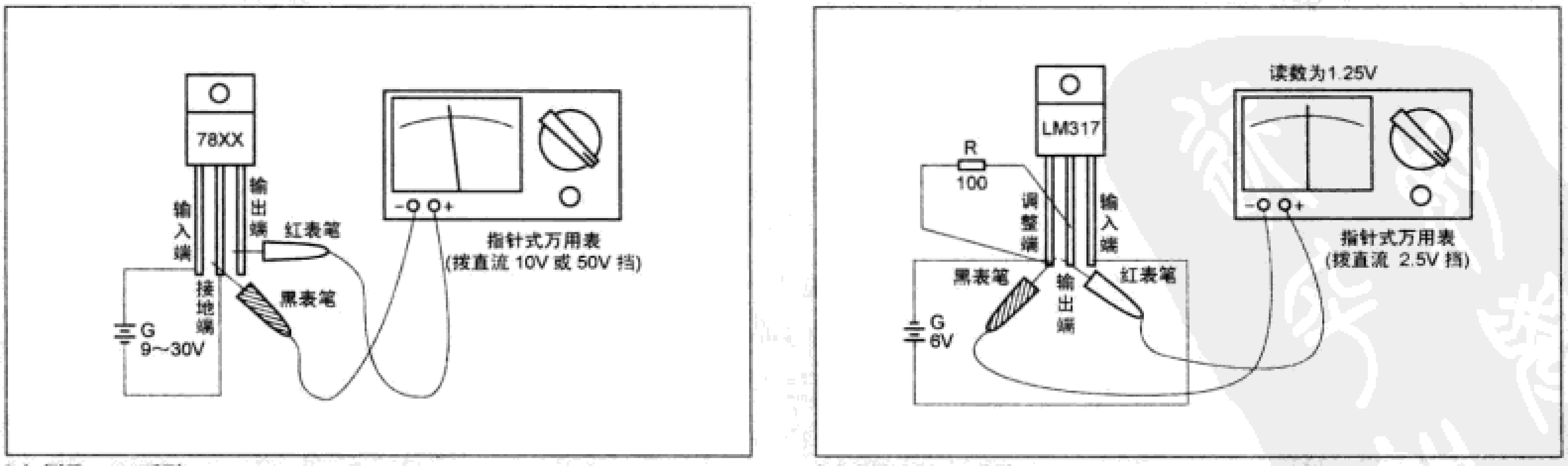
至于输出负电压的固定式79XX系列，以及输出负电压的可调式LM137、LM237和LM337系列等稳压器，具体测试方法与图1相应的接线方法相同，不同处是只要将输入电压的极性、万用表的表笔对调（注意引脚排序的不同）即可。

使用常识

三端集成稳压器虽然应用电路简单，所需外围元件很少，但若使用不当，同样会出现稳压器被损坏或稳压效果

附表　常用三端集成稳压器各引脚之间电阻值

表笔位置		正常电阻值（kΩ）		
黑表笔位置	红表笔位置	78XX系列	79XX系列	LM317系列
输入端	接地端（调整端）	15～45	4.5	150
输出端	接地端（调整端）	4～22	3	30
接地端（调整端）	输入端	4～6	15.5	32
接地端（调整端）	输出端	4～7	3	≥500
输入端	输出端	20～80	4.5	9.5
输出端	输入端	4～7	20	4.8



（a）测量 78XX 系列　（b）测量 LM317 系列

图1　加电法测试三端集成稳压器

不良的现象。下面就使用者需要掌握的一些基本常识介绍如下：

1. 为了正确合理地选用三端集成稳压器，必须做到“三确定”：一是根据直流稳压电源输出电压的特点，确定所选三端集成稳压器的输出电压值和极性（即输出为正电压还是负电压）。

二是根据负载电路的要求，确定所选三端集成稳压器的最大输出电流 I_{Omax}。在选用时，要求按实际最大输出电流的 1.4 倍左右选择 I_{Omax} 为妥。

三是根据已选定的三端集成稳压器，确定其输入端所允许输入的最大电压 UImax。一般普通三端集成稳压器的输入、输出电压差最小不能低于 2V。在不超出最大输入电压值的情况下，输入与输出电压差越大，三端集成稳压器的稳压效果越好。但电压差过大时，稳压器本身消耗的功率随之增大，会相对限制最大输出电流。

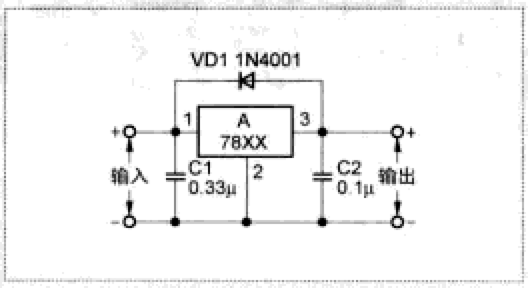
2. 三端集成稳压器在接入电路时，必须防止产生自激振荡。由于三端集成稳压器内部电路放大级数多、开环增益高，且工作时处于闭环深度负反馈状态，若不采取适当补偿移相措施，则在分布电容、电感的作用下，电路就有可能产生高频寄生振荡，从而影响稳压器的正常工作。以图 2 所示的典型应用电路（负电压输出电路将相关元器件和输出电压极性对调即可）为例，其中的电容器 C1 和 C2 就是为了消除自激振荡而必须加的防振电容器。虽然交流电经过整流后由容量很大的电容器进行滤波，但普通电解电容器的寄生电感和电阻都较大，频率特性差，仅适用于 50 ~ 200Hz 的电路。而稳压器的自激振荡频率一般都很高，因此仅用大容量电容器是难以对自激信号起到良好旁路作用的，需要用频率特性良好的电容器与之并联才行，千万不可省掉。另外，C1 还能抑制输入端瞬态过电压，C2 还可以改善负载的瞬态响应。

3. 在各型三端集成稳压器的参数中，都给出了最大输入电压值 U_{Imax}。在实际使用中不仅要注意输入电压不能超过此值，而且更应注意瞬态过电压的危害。一旦有瞬态电压超过额定输入电压的最大值，或者低（高）于接地端电位 0.8V 以上，并且有足够的能量时，就会损坏稳压器（特别是当输入端远离滤波电容器时）。在稳压器的输入端与接地端之间接入一个容量大于 0.1μF 的电容器（参见图 2 中的 C1），不仅能够有效解决这一问题，而且该电容器还具有消除稳压器自激振荡的作用。在实际安装时，还要注意尽量使该电容器和滤波电容器靠近稳压器，这样才能有效地防止瞬态过电压。

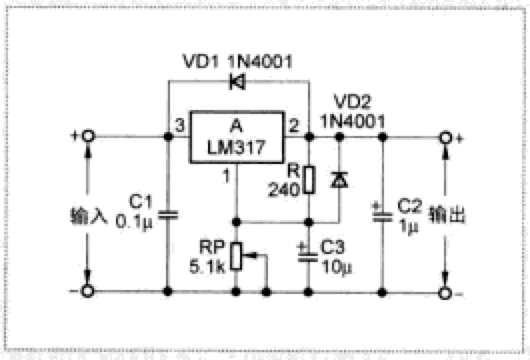
4. 三端集成稳压器在使用时必须防止输入端短路。因为当输入端对地短路时，其电位迅速接近零，而输出端由于一般多接有大容量的电容器，所储存的电荷来不及释放，使输出端的电位仍接近正常输出电压值，这时电容器将通过稳压器内部的输出调整管释放电荷，其发射极在高于 7V 的反向偏置电压下会被击穿。为此，当三端集成稳压器接有大电容负载、且输出电压高于 6V 时，可按图 2 所示在输入端与输出端跨接一个保护二极管 VD1，它能在稳压器的输入端电压突然降低或不慎发生短路时，及时将输出端所接大容量电容器的电荷释放掉，从而保护三端集成稳压器不被击穿。

5. 在使用可调式三端集成稳压器时，为提高稳压器的纹波抑制能力，可按图 2（b）所示，在稳压器的调整端与地之间接入一个 10μF 的电解电容 C3。该电容能够平稳调压电位器 RP 两端的取样电压（R 和 RP 组成稳压器外接取样电阻分压器），有效消除稳压器输出电压的纹波。为了防止稳压器输出端短路时，C3 通过调整端放电而损坏稳压器，可在电路中增加一个晶体二极管 VD2，给 C3 提供放电回路。

6. 常用固定式三端集成稳压器的

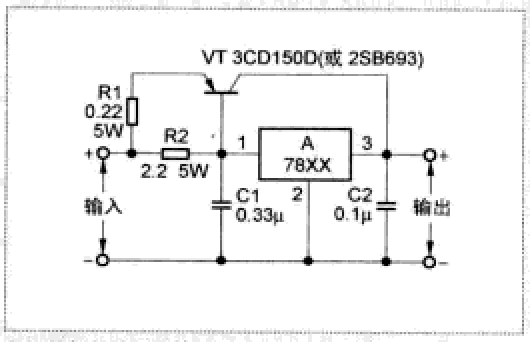


(a) 固定式正电压输出

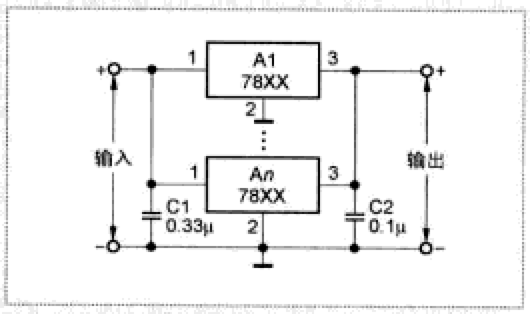


(b) 可调式正电压输出

图2 三端集成稳压器典型应用电路



(a) 外加晶体三极管法



(b) 多个稳压器并联法

图3 三端集成稳压器的扩流

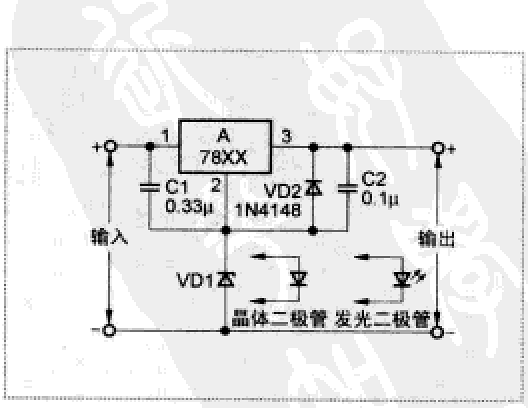


图4 三端集成稳压器增压法

最大输出电流一般只有 1.5A，如果需要获得更大的输出电流，就需要采用扩展输出电流的措施了。图 3（a）给出了外接大功率晶体三极管 VT 进行扩流的电路（79XX 系列稳压器改用 NPN 晶体三极管）。R1 是其过流保护取样电阻器，当输出电流增大且超过一定值时，R1 上压降增大，使 VT 的正偏压 U_{be} 值减小，促使 VT 向截止方向转化。因为集成稳压器本身有过热保护电路，如果我们将 VT 和三端集成稳压器安装在同一个散热板（注意保持电绝缘）上，那么 VT 同样会受到过热保护。该电路的最大输出电流为三端集成稳压器最大输出电流与晶体三极管 VT 最大输出电流之和，按图选用元器件，可获得 ≤ 7A 的扩展电流。除此以外，还可按照图 3（b）所示，使用多个相同的三端集成稳压器直接并联，以获得大的电流输出。这种方法简便、使用效果很好，其最大输出电流为 n × 1.5A（n 为并联稳压器的个数）。实际应用中，稳压器最好使用同一厂家、同一型号产品，以保证参数的一致性。并联的稳压器应安装在同一块散热片上，以保证它们处于相同的散热条件下。

7. 在电子制作或维修时，如果所需三端集成稳压器的输出电压高于手头现有三端集成稳压器的输出电压，不妨按照图 4 所示，将一只稳压二极管 VD1 串接在三端集成稳压器的接地端回路，可使实际输出电压得到一定提高。其输出电压为 78XX 稳压器输出电压与稳压二极管 VD1 稳压值之和。VD2 是输出保护二极管，一旦输出电压低于 VD1 的稳压值时，VD2 导通，可保护稳压器输出级不被损坏。将普通二极管正向运用来代替 VD1，同样可起到抬高输出电压的作用。前些年，笔者为自己的“随身听”录音机装一个 6V、500mA 的稳压电源，而当时手头只有一个 7805 稳压器，按图所示用一只 1N4148 型硅晶体二极管作为 VD1，其正向导通压降约为 0.7V，这样便获得了约 5.7V 的输出电压，满足了“随身听”的需要。若将 VD1 换成发光二极管，则不仅能提高输出电压，而且还能起到电源指示灯的作用。

8. 带散热片的 78XX 系列三端集成稳压器，其散热片与接地端相连，有人认为有了散热器与电路地线的接触就可以不必再接稳压器的接地端，这是不正确的。因为机械接点时间一长，表面会因氧化、受振动等原因而导致接触不良，这会造成稳压器的“浮地”故障。一旦接地端完全断开，稳压器的输出端电压就可能接近未稳压的输入电压，这就有可能因输出端电压过高而造成负载电路损坏！所以三端集成稳压器的接地端在电路中不可“悬空”，必须可靠接通电路的公共地线。

9. 为了降低三端集成稳压器的功率损耗，可以降低集成稳压器的输入和输出之间的电压差。为此要大大降低调整管的饱和压降，使调整管在 1V 以下的管压降下仍有良好的放大作用。低压差三端集成稳压器就是这类产品，它具有压差小、功耗小等特点。例如：LM2936（5V、5mA）低压差、固定式三端集成稳压器的最小输入、输出压差只有 0.4V，LM2930-5（5V、150mA）、LM2930-8（8V、150mA）低压差、固定式三端集成稳压器的最小输入、输出压差只有 0.6V，μPC2405（5V、1A）、μPC2418（18V、1A）低压差、固定式三端集成稳压器的最小输入、输出压差只有 1V，它们的封装形式和引脚排列与普通 78XX 系列稳压器完全相同。低压差三端集成稳压器可用于普通三端集成稳压器难以胜任的各种低功耗、高效率电路中。

10. 三端集成稳压器属功率器件，它的最大功耗取决于内部调整管的最大结温。因此，要保证稳压器能够在额定输出电流下正常工作，就必须为它采取适当的散热措施。稳压器的散热能力越强，它所承受的功率也就越大。如果因散热不良，而导致稳压器内部调整管的结温达到保护动作点附近时，稳压器的稳压性能将变差；如果调整管的结温超过允许的最高结温，稳压器内部的过热保护电路就会自动保护，使稳压器无法正常工作。所以，对于大、中功率的三端集成稳压器，在满负荷使用时，一定要按有关技术要求加装足够大的散热器；对于小功率的三端集成稳压器，虽然不要求加散热器，但在安装时应注意采取良好的通风散热措施。

美信推出用于超声检测的混合信号片上系统微控制器MAXQ7667

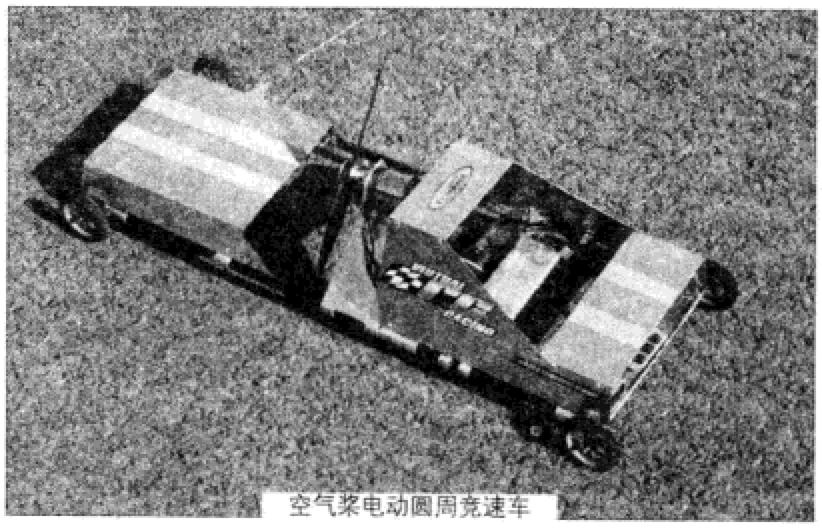
美信推出用于超声检测的混合信号片上系统微控制器 MAXQ7667。作为一个高集成度的 DAS（数据采集系统），该款 SoC 针对 EPA（电子泊车辅助）和 PDC（泊车距离控制）等汽车传感器系统进行了优化，该器件还非常适合需要位置测量的工业处理、自动化及手持式应用。封装尺寸 7mm x 7mm，集成了精确测量位置所需的主要功能模块，包括突发信号控制（脉冲传输）、模拟回波接收、数字信号处理以及微控制器。

登陆美信官方网站:http://china.maxim-ic.com/可申请免费样片

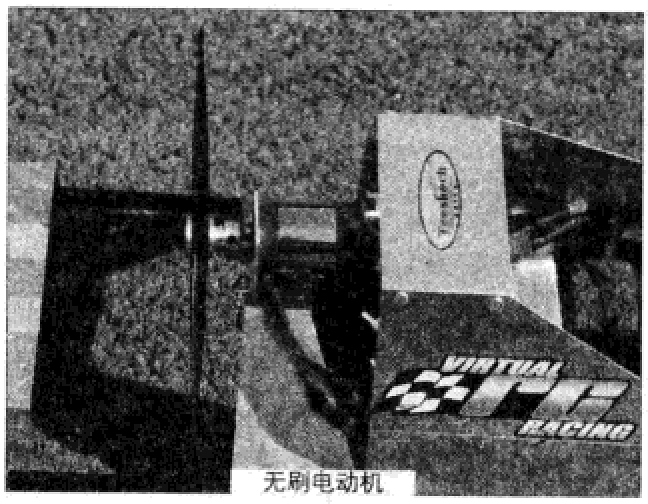
一款空气桨电动圆周竞速车的创新设计

◎周宝善　尹永志

1 空气桨电动圆周竞速车采用电动机作动力，空气螺旋桨作推进器，用细钢丝牵引，围绕回旋柱在平地上作高速运动，属北京市青少年车辆模型新增竞赛项目，参赛选手按规程自由设计制作模型。2009年10月18日，笔者辅导学生自行设计一款模型车，选取碳纤管做车身，合金铝做车壳，采用单片机程控无刷电机变速、定时停车，不仅运行平稳（四轮着地），速度超快（回旋半径为6m，跑5圈时间为6s），而且操作简单（轻轻按下启动键即可），安全省电（低速启动，定时高速，自动停车），如附图所示，在竞赛中一举夺冠，成为众多爱好者学习的榜样，下面是该模型车具体制作过程。


空气桨电动圆周竞速车

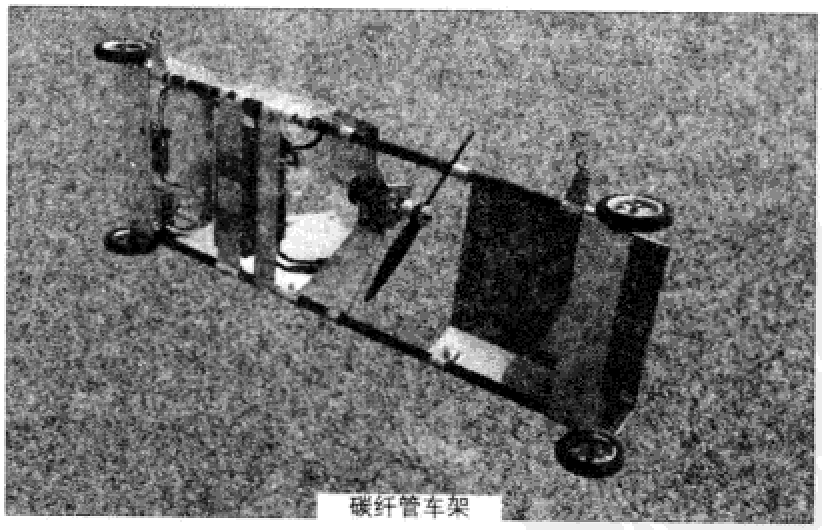
2 选购合适的动力组件。据竞赛规则，电动机可选用一款直径28mm，长度38mm外转子无刷电动机，KV值为4000～5000，电子调速器额定电流30A，原因是：该类型电机工作效率高，容易维护，螺旋桨可用长度160mm标准型空气桨。电源选用25～30C、2200～3000mAh、7.2V锂电池，原因是：该电池体积小，质量轻，最大放电电流达55A，如附图所示。



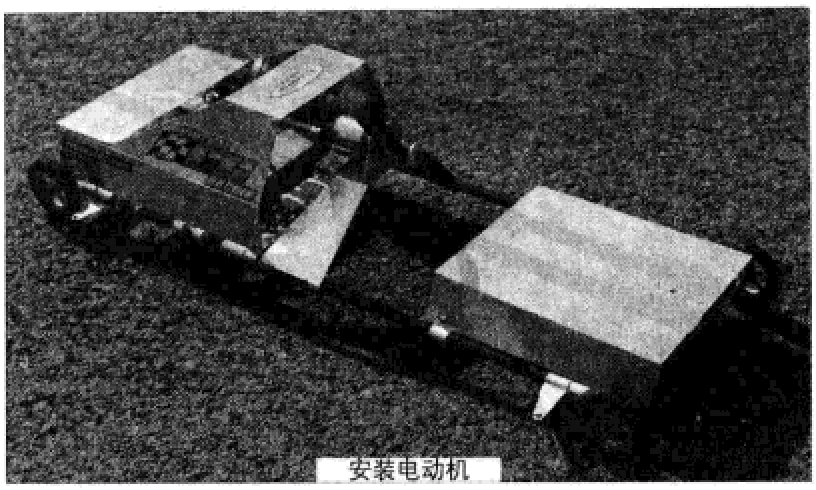
无刷电动机

电子调速器

3 设计合理的车身结构。据动力组件、结合以往制作经验，车架选用重量轻、强度大、拧折不弯、直径8mm、长度420mm碳纤管，车轴选用直径2.1mm、长度186mm的车条，车轮选用直径45mm、轮宽10mm飞机模型的轮子，加强板选用厚1mm的合金铝板，如附图所示。

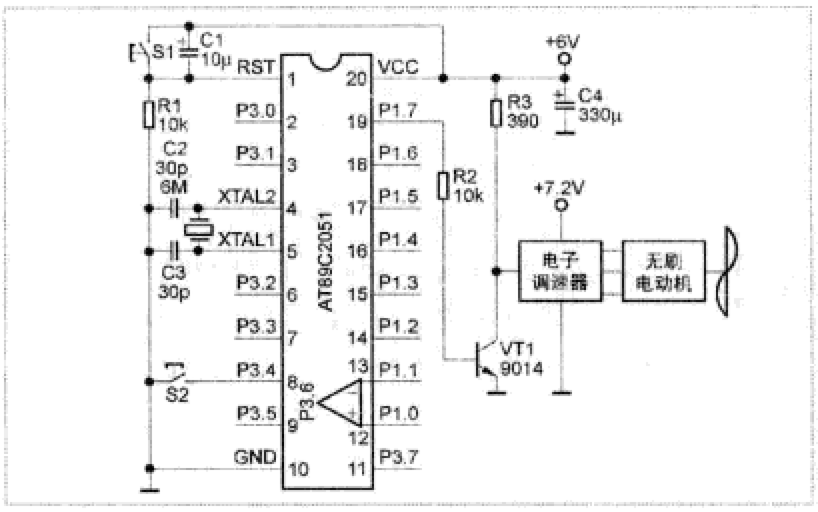

碳纤管车架

4 调试安装电动机位置。据试车经验，可将电动机中心位置固定在车身正中央，电动机中心轴离地高度设定为90mm，这样做的好处是：模型车高速运行时不会上下翻飞，如附图所示。

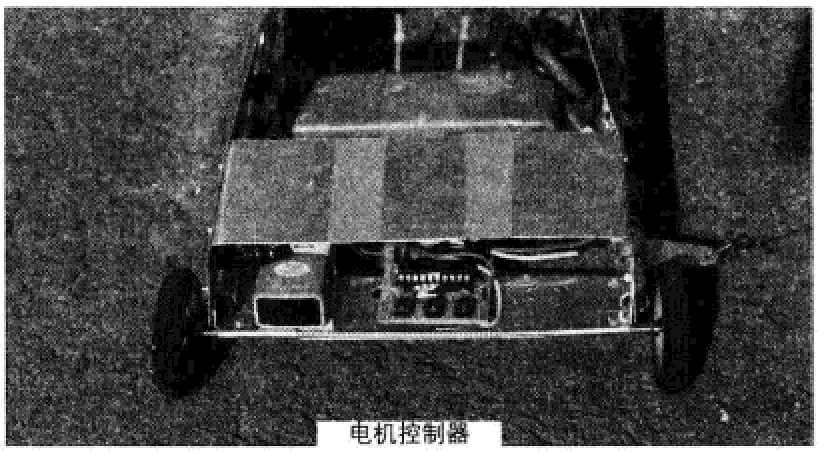


安装电动机

5 设计单片机程控无刷电动机定时变速、定时停车电路，电原理图如附图所示，S1为复位键，也是急停键，S2为启动键，按下S2键，无刷电动机低速转动5秒，然后高速转动15秒，最后停止转动。

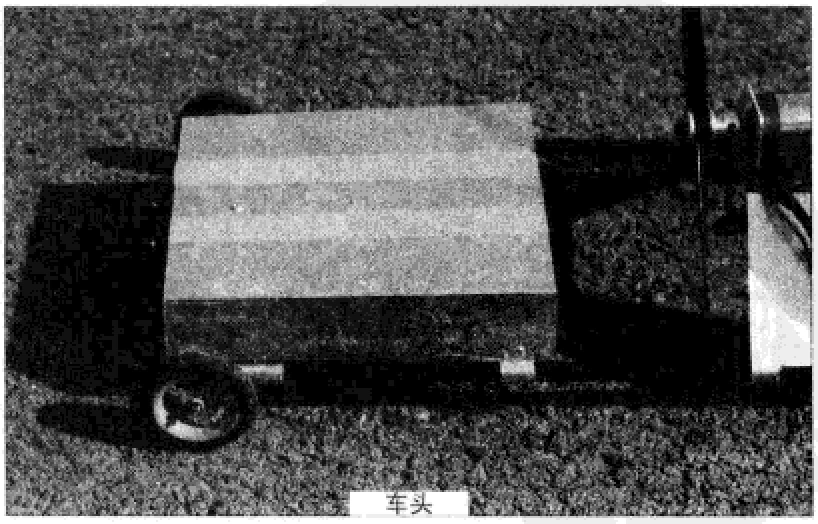


6 编写电机控制程序，将程序输入到电脑中，编译正确，然后通过51编程器写入到AT89C2051单片机芯片内。你可以在《无线电》杂志的网站www.radio.com.cn上找到该程序。单片机采用6V层积式电池单独供电，电池及电机控制电路板可采用热熔胶粘贴方式固定在车架上，如附图所示。

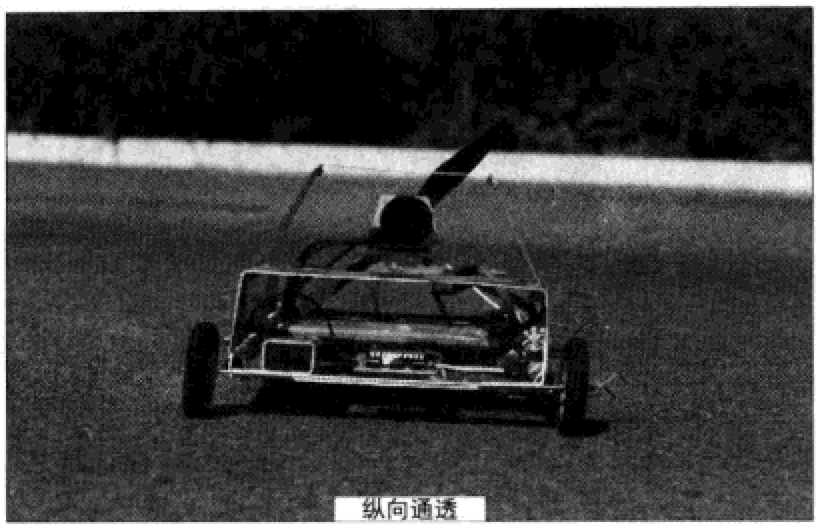


电机控制器

7 设计规范的车壳。车壳讲究美观、实用。美观指的是模型车壳看起来舒服、漂亮，实用指的是模型车壳结实、通风性能良好。为此车壳材料可选用硬度较强的0.5mm合金铝板、车壳结构可采用纵向完全通透式，这样做的好处是：能极大减少模型车高速运行时风的阻力，如附图所示。



车头

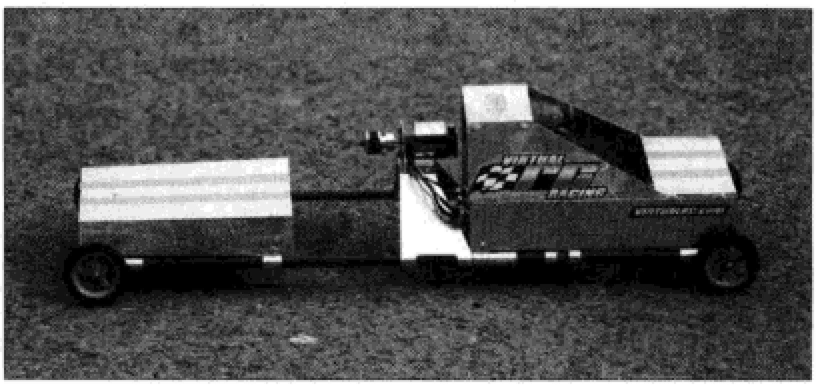

纵向通透

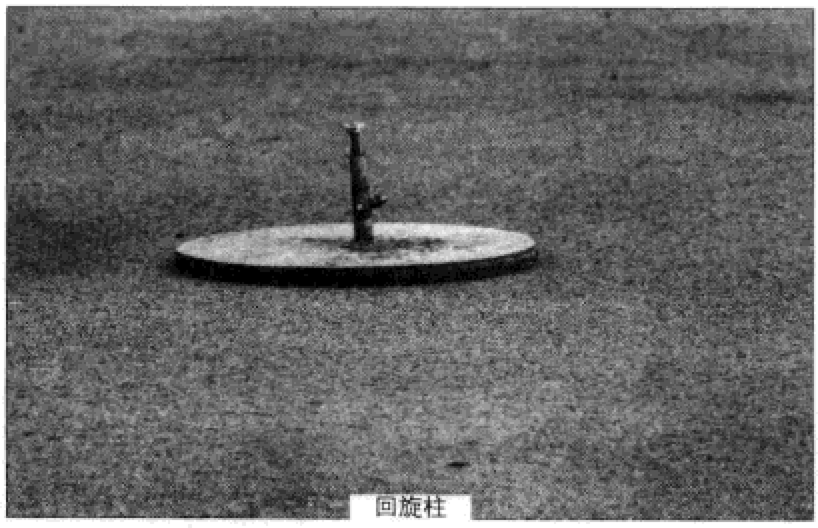
车尾

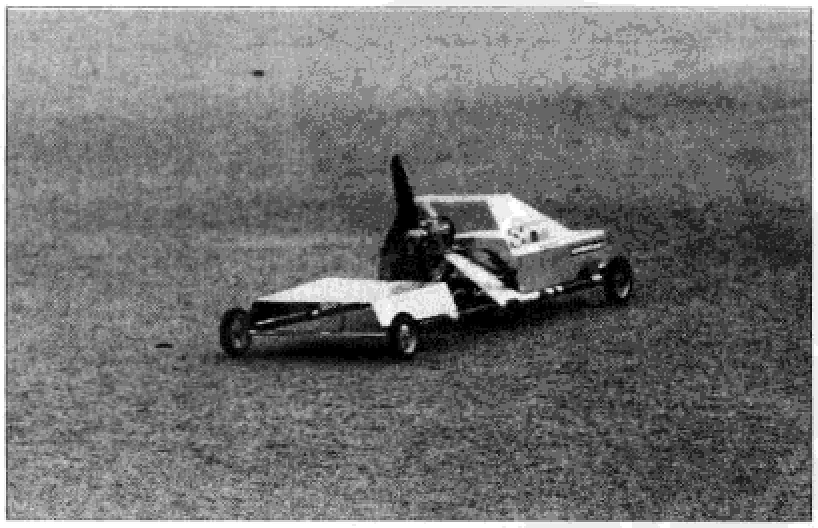
8 调整前拉线与后拉线的长度。据试车经验，拉线应和车的中轴线平齐，前拉线长605mm，后拉线长605mm，间距为380mm，调整电池安装位置。悬挂状态如附图所示。

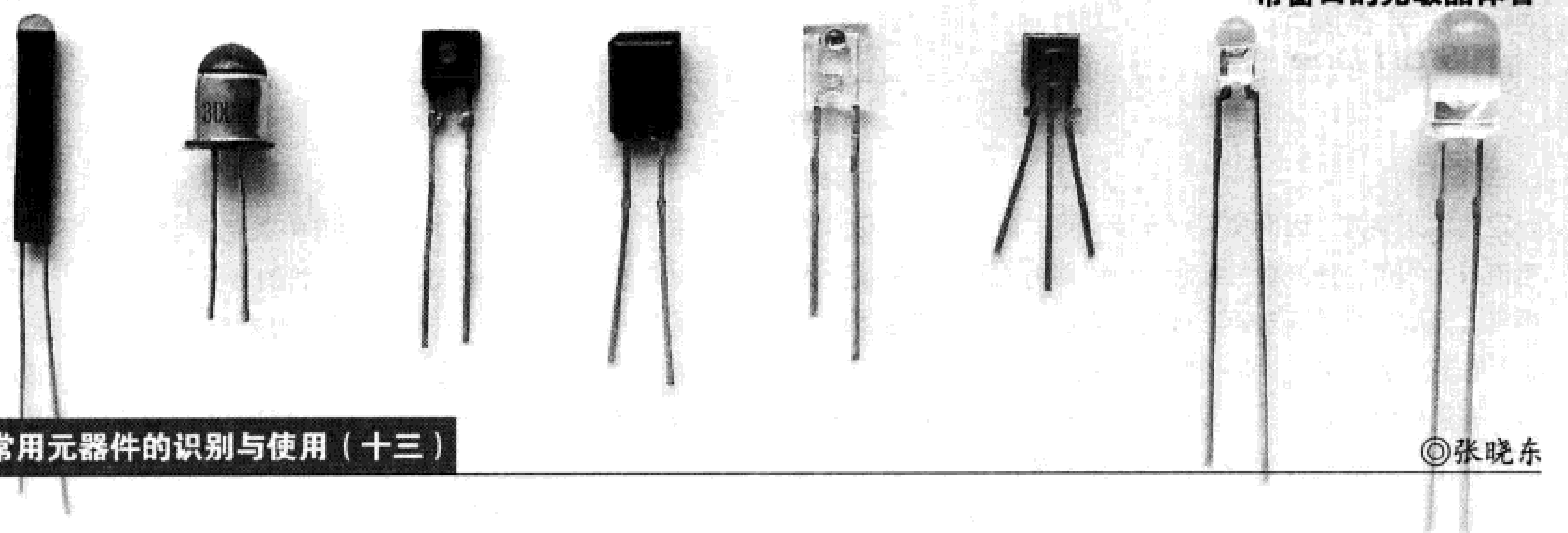
后侧前后拉线

9 整车调试。试验时，一定要多加小心，牵引钢丝直径不得小于0.5mm。回旋柱质量不得小于35kg。比赛规定：回旋半径为6m，运行圈数为5圈，实际情况是：跑1圈约1秒钟，如附图所示。模型车运行过程中如出现有的轮子不着地（这是竞赛不允许出现的），需耐心调整载物位置，车壳定风板方向（上扬或下压），螺旋桨在车身中的位置以及距地面高度！精心调试，你一定能成功！




回旋柱





常用元器件的识别与使用（十三）

◎张晓东

带窗口的光敏晶体管

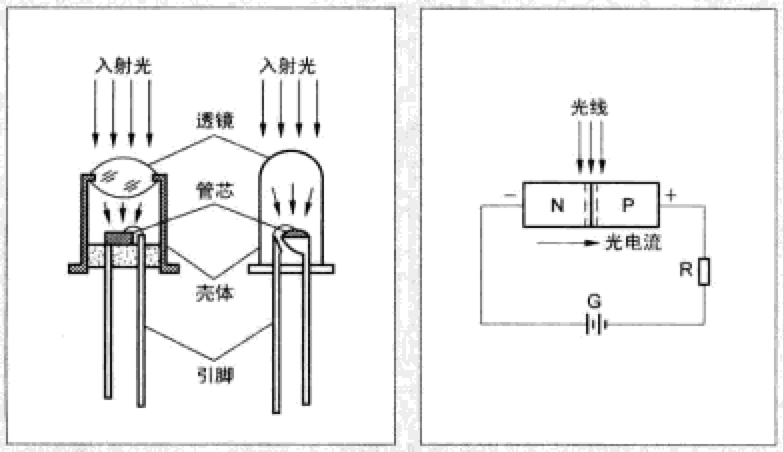
光敏晶体管（简称“光敏管”）是利用半导体材料的光电效应原理制成的特殊光传感器件，它能够将光信号转变成为电信号，其外形最大特征是管壳均开有感光窗口，并且窗口多设有会聚光线的凸透镜。由于通常将光和电能够相互转换的元器件统称为光电器件，所以包括光敏晶体管在内的发光二极管、光电耦合器、LED数码管等被统称为半导体光电器件，光敏晶体管亦被直接称为光电晶体管。

将光敏晶体管产生的电信号进一步处理后，可以完成各种各样的自动控制或检测等任务。由于电子爱好者在制作或维修各种光控、红外线遥控、光探测、光纤通信和光电耦合等装置时，都不可避免地要跟各种光敏晶体管打交道。因此，掌握光敏晶体管的基本识别与使用方法，是很有必要的。

如何识别光敏晶体管

1. 外形和种类

光敏晶体管主要有光敏二极管（也称光电二极管）和光敏三极管（也称光电三极管）两大类。从光敏晶体管对不同光线的敏感程度来划分，有常见的对近红外光敏感的普通光敏晶体管，有对红外光敏感的红外光敏晶体管（也叫红外接收管），有对紫蓝光、红光、绿光等敏感的特殊光敏晶体管等。



(a) 结构图　(b) 工作图

图1 光敏二极管的工作原理

光敏二极管按制造材料不同，可分为硅管、锗管两大类；按制造结构和工艺不同，可分为 PN 结型、PIN 结型（可工作在高频下）、雪崩型（灵敏度很高）和肖特基结型 4 种。光敏三极管按制造材料和导电极性不同，可分为硅 NPN 型、硅 PNP 型、锗 NPN 型和锗 PNP 型 4 种，按结构类型不同，可分为普通光敏三极管和复合型（达林顿型）光敏三极管。常用的光敏二极管多为硅材料 PN 结型管，光敏三极管多为硅 NPN 型光敏三极管。

2. 结构及特点

光敏二极管与普通半导体二极管相比较，有不少相似的地方，如管芯都是由一个PN结构成的，所以都具有单向导电的性能。但光敏二极管是光电元件，因此，在构造上有它自己的特点，例如从外形上看，光敏二极管的管壳上都设有一个感光小窗口，窗口本身多为凸透镜，光线通过窗口时，正好会聚照射在管芯上，见图1（a）所示。光敏二极管的管芯结构与普通二极管也大不相同，为了使光敏特性显著，其管芯中的PN结面积比普通二极管要做得大。当按照图1（b）所示，给光敏二极管加上反向电压时，如果不受到光的照射，PN结及两侧半导体材料之间的电阻会很大，通过光敏二极管的反向电流极小；当受光照后，PN结及两侧半导体材料之间在光的激发下会产生大批“光生载流子”，使其电阻显著变小，提供管子的反向电流会大量增加，这个电流就称为光电流。光电流与光照强度成正比特性，它随着光照强度的变化而相应变化，从而在外电路负载电阻器R的两端便可得到随入射光线变化的电压信号，实现光电转换。需要注意的是：光敏二极管的正常运用是在反向偏压下工作的，其光电流为反向电流，这一点与普通二极管不同。

光敏三极管是在光敏二极管的基础上发展起来的光电器件，它不但具有和光敏二极管一样的光敏特性，而且还具有

一定的放大能力，因而使用更方便、更广泛。由于三极管的电流放大作用，使光敏三极管对光线照射的反应灵敏度大大提高。光敏三极管同普通三极管在内部构造上没有根本的区别，唯有光敏三极管的基区是接受光的地方,所以基区面积做得比普通三极管要大，而发射极面积却小得多。在同样的光照条件下，光敏三极管所产生的光电流要比光敏二极管大几十倍甚至几百倍。需要注意的是：大多数光敏三极管只有集电极c和发射极e两根引脚，其外形与光敏二极管几乎完全一样。但也有部分光敏三极管的基极b有引脚，常作温度补偿或附加控制用。光敏三极管在正常运用时，其集电极c和发射极e之间所接直流电压的极性，与相同导电极性的NPN或PNP普通三极管完全一致。

3. 型号命名规则

国产光敏二极管和光敏三极管的命名方法与普通晶体二极管、晶体三极管相同，其型号也是由5个部分组成（也有省掉第五部分的），如2CU1A、3DU8等。其中：第一部分用数字表示二极管或三极管（并非代表引脚数目）；第二部分用汉语拼音字母表示管子的材料和极性，如A为锗N型或PNP型、B为锗P型或NPN型、C为硅N型或PNP型、D为硅P型或NPN型；第三部分用汉语拼音字母U表示光敏管；第四部分（数字）、第五部分（汉语拼音字母）分别表示产品序号和规格，主要用来区分有关参数的差异等，具体可查有关手册获知。例如，光敏晶体管的型号中末尾是字母“B”，表示光敏二极管带有环极或光敏三极管的基极带有引脚，如果末尾是字母“D”，则多表示管子为达林顿型光敏三极管。需要指出的是，PIN型硅管的型号命名只有第三、四、五部分，其格式为PIN××。大多数光敏晶体管的型号都不会、也无法在管壳上面标注出来。

目前普遍使用的是2CU系列硅N型光敏二极管和3DU系列硅NPN型光敏三极管。除此以外，常用的各种进口型号（包括合资企业生产）的光敏晶体管，尽管型号五花八门，无明显规律，但也多属于这两种类型。我们从产品型号上一般只能获得光敏晶体管的制造材料和类型等，无法获得有关参数信息。如要知道具体的参数，就需要到产品说明书或半导体手册中去查找。附表给出了几种常用国产光敏晶体管的型号和主要参数，供参考。

4. 引脚识别方法

常用光敏晶体管的引脚排列位序如图2所示。一般国产金属封装的光敏二极管，在管子外壳靠近正极引线的那一面标有色点作为标志，或在管帽边沿处凸出一小块来作为标志。假如光敏二极管有3个引脚，那么除了正、负极之外，第3个引脚应为环极。例如，2DU××B型光敏二极管的3个引脚是成一字形排列的，离标志最近的引脚是正极，中间的引脚是负极，最远的一个引脚就是环极。

附表　常用国产光敏晶体管的型号和主要参数

类别	型号	最高工作电压 U_{RM}或$U_{(RM)}$ ceo（V）	暗电流I_D（μA）	光电流I_L（mA）	光电灵敏度S_n（μA/μW）	峰值波长λ_P（nm）	响应时间t_r（μS）	最大工作电流 I_{CM}（mA）	最大耗散功率 P_{CM}（mW）
光敏二极管	2CU1A	10	≤0.2	≥0.08	≥0.5	880	≤0.005		
	2CU1B	20							
	2CU1C	30							
	2CU1D	40							
	2CU1E	50							
	2CU2A	10	≤0.1	≥0.03	≥0.5	880	≤0.005		
	2CU2B	20							
	2CU2C	30							
	2CU2D	40							
	2CU2E	50							
	2CU5	12	≤0.1	≥0.005		880	≤5		
光敏三极管	3DU11	10	≤0.3	>0.5		880	≤3	20	30
	3DU12	30	≤0.3	>0.5		880	≤3	20	50
	3DU13	50	≤0.3	>0.5		880	≤3	20	100
	3DU21	10	≤0.3	>1		880	≤3	20	30
	3DU55	45	0.5	2		850	≤3	5	30
	3DU100	6	0.05	0.5		850	≤3	20	50
	3DUB13	70	0.1	0.5		850	≤3	20	200
	3DUB23	70	0.1	1		850	≤3	20	200
	3DU511D	≥20	≤0.5	≥10		880	≤100		
	3DU512D	≥20	≤0.5	≥15		880	≤100		

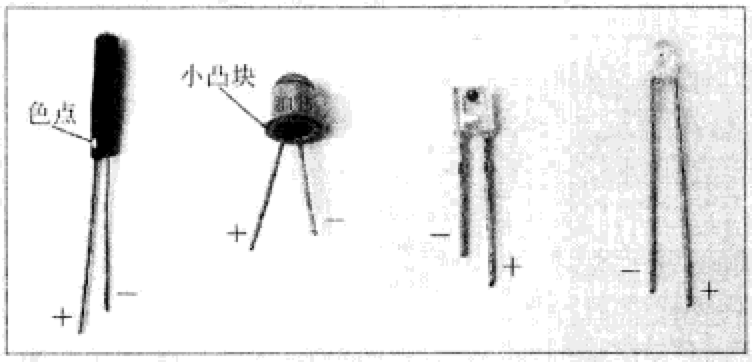
光敏三极管大多数只有发射极e和集电极c两个引脚，其外形和引脚识别方法与光敏二极管几乎一样。部分光敏三极管的基极b有引脚（如3DU11B型），其排列位序与普通晶体三极管一样。

光敏晶体管简易测试方法

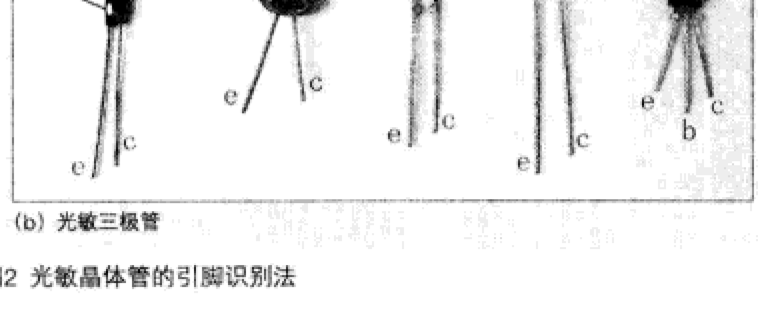
1. 判别类型和引脚。参照图3（b）所示，将指针式万用表置于“R×1k”或“R×100”电阻挡，先用一遮光物（如黑纸片、钢笔帽等）遮住光敏晶体管的透明窗口，用万用表的红、黑两表笔分别去接触被测管的两个电极。如果其中一次的测量结果为指针几乎不动（阻值为无穷大），另一次（调换表笔后）的测量结果为指针向右偏转较大，则说明被测管是光敏二极管，并且指针向右偏转较大（一般电阻值≤10kΩ）的那次，黑表笔所接引脚应为光敏二极管的正极，红表笔所接引脚应为负极。

如果两次的测量结果均为万用表指针几乎不动，且取掉遮光物后有一次的测量结果为指针向右偏转较大，则说明被测管是光敏三极管，并且指针向右偏转较大的那次测量中，黑表笔所接引脚在电路中应接高电位端、红表笔所接引脚在电路中应接低电位端。由于常见的大多数光敏三极管均为NPN型，所以还可判断为黑表笔所接引脚为集电极、红表笔所接引脚为发射极（PNP型管正好相反）。

如果上述测量中，在无光照和有光照的条件下，对调表笔后两次测量的电阻值均很小或很大，说明不是被测管已经击穿就是内部已经开路。

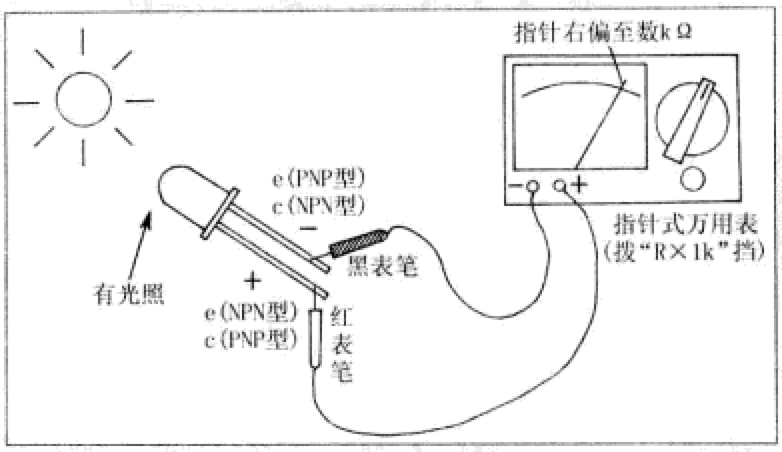


(a) 光敏二极管

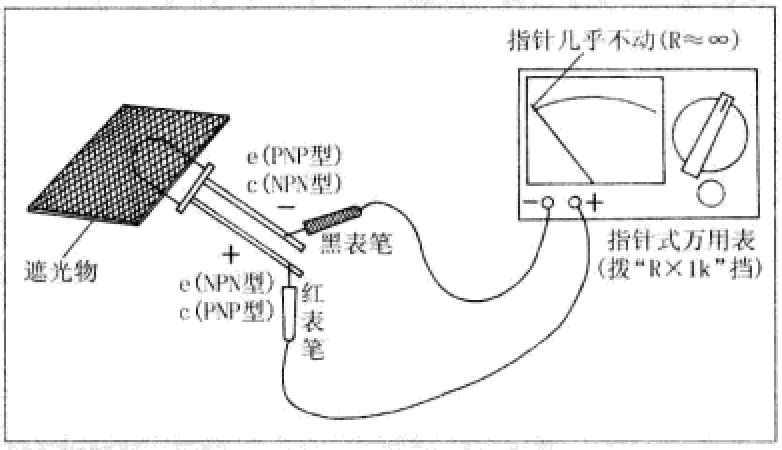


(b) 光敏三极管

图2 光敏晶体管的引脚识别法



(a) 有光照



(b) 无光照

图3 测试光敏晶体管的性能

2. 检测光电性能。按照图3（a）所示，将光敏晶体管的透明窗口朝向光源（自然光或白炽灯光），将万用表的红表笔接光敏二极管的正极、黑表笔接负极，或者红表笔接NPN型光敏三极管的发射极、黑表笔接集电极（PNP型光敏三极管正好相反）。这时，万用表的指针一般应向右偏转至几千欧处。然后，按照图3（b）所示，用一遮光物（如黑纸片、钢笔帽等）将被测管的透明窗口遮住，则测得光敏晶体管在无光照情况下的暗电阻，其电阻值一般应为无穷大。在光照情况下，万用表的指针偏转越大，说明被测管的灵敏度越高。若将光敏晶体管对准光源后，万用表指针偏转很小或无任何摆动，则表明被测光敏晶体管灵敏度太低或已经损坏。

由于光敏二极管本身在光照条件下能够产生一定的电能，所以也可用万用表测量管子的直流输出电压和短路电流，以此判断被测管的性能好坏。具体方法：将万用表拨至“直流2.5V”挡，红表笔接光敏二极管的“+”极，黑表笔接“-”极。在太阳光或白炽灯（不宜用日光灯）下，其测量电压与光照强度成正比例，一般正常管可达0.2～0.4V。另外，将万用表拨至“直流100μA”挡，仍然用红表笔接被测光敏二极管的“+”极，黑表笔接“-”极。在光照条件下，对于性能良好的光敏二极管，其短路电流可达数十至数百微安。

电阻使用心得

◎杜洋

上小学的时候，拆过不少家用电器，看到电路板上密密麻麻的元器件，我只认识一样，就是电阻。当时困扰我许久的问题是，电路中不是电流越大越好吗，为什么还要用电阻减小电流呢，电流到底有什么用。上高中一年级的时候，老爸给我买了一本《无线电爱好者读本》，那是我第一次正式接触电子技术。和其他电子技术入门的书一样，书的前面介绍了由电阻和三极管组成的单管放大电路。那时我才解开了电路中使用电阻的迷惑。

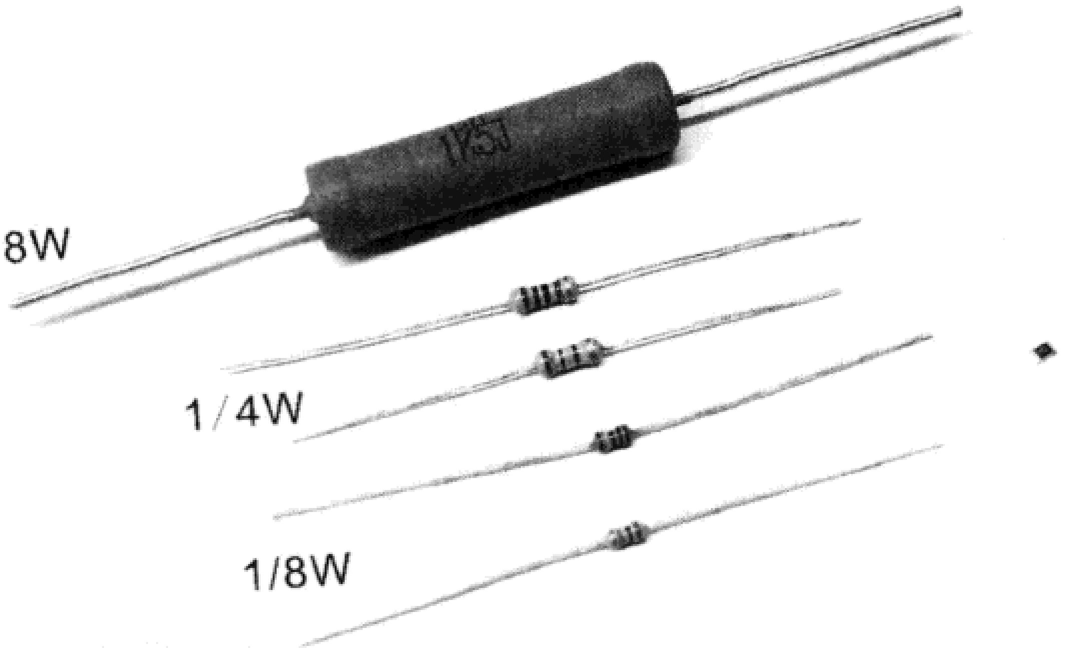


图1（a） 电子制作常用电阻器

上大学一年级的时候，我照着书中的电路图到电子市场买电阻，发现电阻的阻值并不是我想象中工整的1Ω、2Ω、3Ω，而是并不易记的5.1Ω、4.7kΩ，5.1kΩ，这是为什么呢？拿到电阻时又发现，电阻上面并没有标注阻值和注意事项的印字，而只有七彩绚丽的颜色，这些都是为什么呢？小小电阻之中蕴涵着怎样的奥秘呢？

图1是电子制作中常用的电阻器（习惯上简称为电阻），最大的那个8W的电阻并不常用，只是做一个对比介绍。大家注意图片右侧小圈里的黑色不明物体，它其实是一粒可爱的小电阻，表面贴装的，也就是常说的贴片电阻，一会我们还会介绍它。贴片电阻是体积最小的电阻器，那最大的就当属体积与重量都很大的水泥电阻，还有更强大的功率达成百上千瓦的绕线电阻器了。它们都是用在强电设备上的，对于我们来说并不常用，我只看过它们安静地躺在柜台里面。

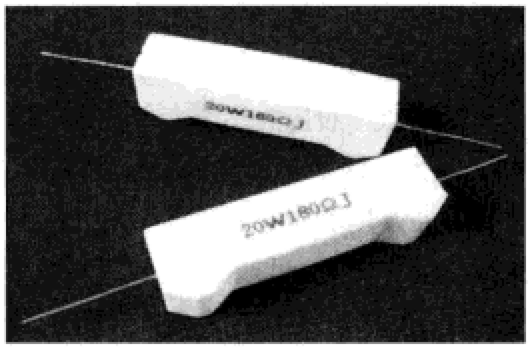


图1（b）20W水泥电阻器

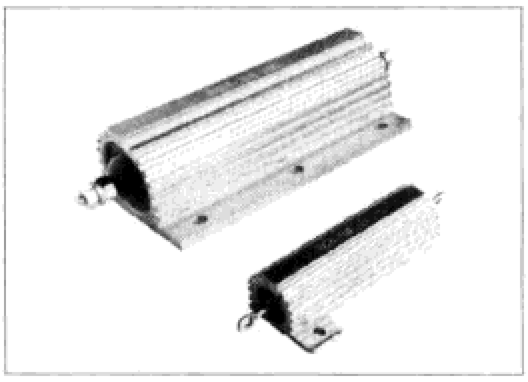


图1（c）500W绕线电阻器

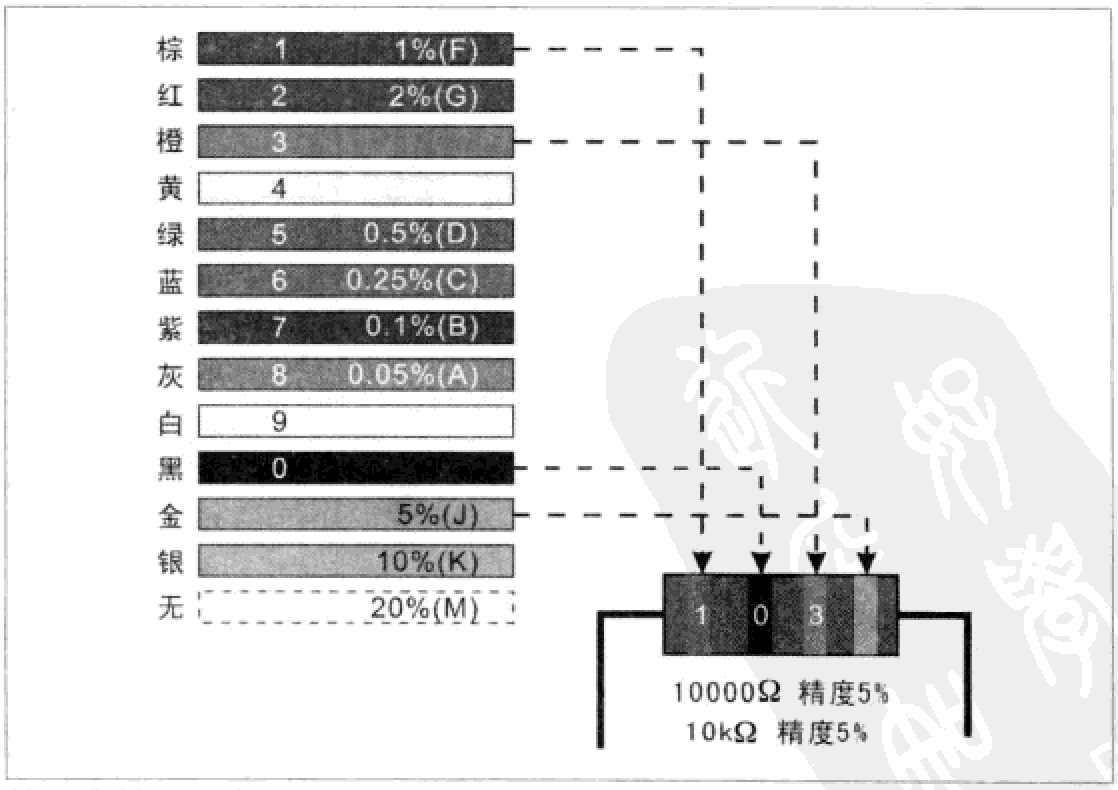


图2 色环电阻原理示意图

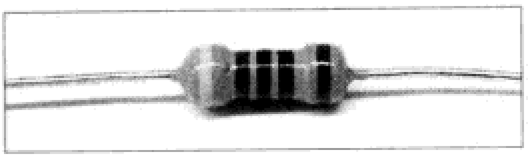


图3 五环电阻

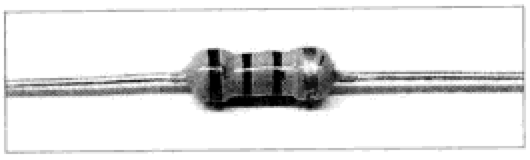


图4 四环电阻

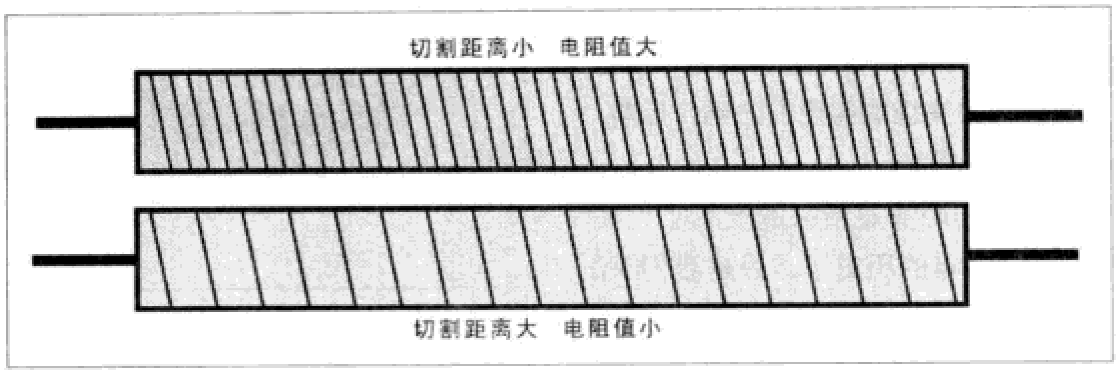


图5 电阻切割示意图

电阻色环的由来

电子爱好者最常用的还是直插式色环电阻，一支小圆柱的两端引出两根引脚，圆柱上用各种漂亮的颜色画圈，很完美的设计。初见色环电阻的时候还真不知道色环的作用，还以为电阻的设计者是哪位艺术家呢。后来读了《无线电》杂志才知道，原来色环的颜色代表着不同的数值，这些数值就表示了电阻器的阻值和精度。如梦初醒的我又产生了新的问题——为什么不直接把数字印在电阻上，那样不是更方便吗？了解色环的由来，还可以顺便了解一下电阻的生产工艺。

大家注意看上面出现过的图片，8W、20W和500W的电阻器都是用数字表示阻值的，唯有小体积的电阻采用色环表示。为什么呢？难道是电阻表面积小，不方便标注吗？可是体积更小的贴片电阻也是采用的数字表示，看来不是工艺上做不到，而是另有原因。

一次拆机维修，让我领悟了设计者的巧思。在已经焊接好的电路板上，电阻的焊接形态各异，有躺着的，有站着的，还有飞来飞去的。如果把电阻值用数字印在电阻身体上，那么一旦数字朝向电路板或是被身边的其他元器件挡住，我们就看不到数字了。而使用色环就能以360°全方位识别电阻值，唯一的不足就是爱好者们必须背下色环的含义。

色环电阻又分五环和四环，五环电阻可以有3个数据位，可以表示更细微的阻值。黑、棕、红、橙、黄、绿、蓝、紫、灰、白分别表示0~9十个数字。五环电阻中前3位表示数值，第4位表示10的多少次方（也就是加多少个“0”）。例如色环读数是4702，则表示470乘以10的2次方，也就是在470后面再加2个“0”，即47000Ω，也就是47kΩ（Ω，欧姆是电阻的单位，也是一款瑞士名表的商标）。四环电阻中前2位表示数值，第3位表示乘方位。例如色环读数是100，则表示10乘以10的0次方，在10后面不加“0”，即10Ω。色环的最后一位是精度位，在图2中可以看到，不同的颜色还表示不同的阻值精度。有朋友会问了，电阻是对称的，两边看起来都一样，怎么知道哪边是第一位，哪边是最后一位呢？刚开始的时候我也被这个问题困住了。后来发现，事情并没有我想的复杂，我们所用的电阻精度多半是5%和10%的，也就是说电阻的最后一位多是金色或银色，很少有和数值复用的颜色。先通过精度环找到最后一位，电阻的读数就不会有误了，实在找不准的，再问一下万用表。在大功率的水泥电阻和绕线电阻上，阻值的表示有点多变。电阻的单位多用Ω或R表示，数字中夹有字母的，则起到小数点的作用。例如4K7表示4.7KΩ，4R7表示4.7Ω等。这些电阻还使用字母表示电阻的精度，可以参考图2中括号里的字母。例如180ΩJ表示电阻的精度是5%。

我的问题很多，总喜欢挑战那些好像是本应该正确的事情。

碳膜电阻是怎么产生阻值

我在使用电阻的时候，最让我感到神奇的是各种阻值的电阻长得都一样，它们是怎么得到不同阻值的呢？为了找到答案，我用钳子剪开了大大小小的电阻。在大功率的电阻内部是一些金属绕线，那绕线应该是具有一定阻值的合金材料，通过绕线的长度来控制阻值大小，这一点很容易理解。可是当我切开1/4W碳膜电阻时却什么也没有发现。里面是白色的类似塑料的物质，用万用表测试发现它是不导电的。那么碳膜电阻是怎么产生阻值的呢？答案来自一次与陌生人的闲聊。

2009年的深圳电子展会，我也去参加了，在我们展台的旁边是一家精密电阻生产厂的展台。闲来无事就去和他聊天，正巧就聊到了我的疑惑，他对电阻生产流程很熟悉，就在我的追问下详细介绍了电阻的生产工艺。

碳膜电阻的制作很简单，在一粒绝缘塑料棒上镀上一层碳膜，碳膜是具有一定阻值的，但并不是靠镀膜的厚度来控制阻值，而是靠切削。用一把切削刀在碳膜上斜向旋转切割，切割后碳膜就变成了螺旋形的导线，通过控制切割的疏密来产生不同的阻值。好像削苹果一样，连续削出来的苹果皮越长阻值越大，皮越短阻值越小。金属膜电阻也是相同的原理。

听到这个介绍之后，我非常激动，

虽然原理很简单，可是我一直没有想到，看来我应该多去了解一下元器件生产方面的知识了。知道了直插电阻的生产方法，又联想到贴片电阻，贴片电阻是扁平的，好像只有一个面镀有黑色的膜，那它的切割方法是怎样的呢？或者它有什么更高级的实现方法吗？目前，我还在寻找答案。

贴片电阻算是新兴的产品了，其实已经有N年的历史了，只是我们DIY的朋友大部分在用直插元器件，介绍贴片相对来说算是新东西了。直插电阻是用纸条包装成带状的，贴片电阻则是像电影胶片一样，用盘带包装。

贴片电阻的阻值和直插的没有区别，只要直插电阻有的阻值，贴片也都有。贴片电阻的体积小，功率自然也不高，根据封装大小的不同，功率也有不同。常用的0805封装电阻，功率是1/10W。贴片电阻的阻值是用3位数字表示，没有精度表示。前2位表示数值，第3位是乘方位。如贴片电阻上的数字是102，表示10后面加2个“0”，就是1000Ω，即1kΩ。和直插电阻的计算方法相同。

我非常喜欢贴片电阻，因为它可以让我的制作看上去更简洁。在使用洞洞板焊接电路时，我都会把0805封装的贴片电阻焊接在洞洞板背面的两个焊盘之间，那2.54mm的距离正好用来放置它，好像为此量身设计的一样。这样一来，整个电路板的正面就丝毫没有电阻的痕迹了。只是焊接电阻的过程中一不小心把它掉在地上就别想再找到了。不过还是建议大家多用贴片元器件，它会让你的制作更美观，更新潮哦！

图6 盘装贴片电阻

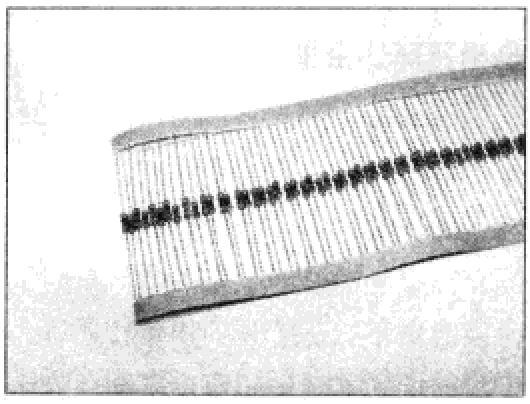


图7 带装直插电阻

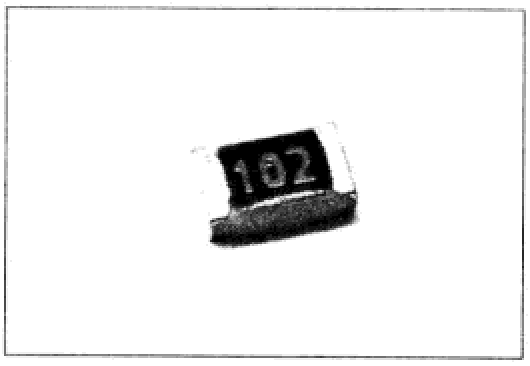


图8 贴片电阻

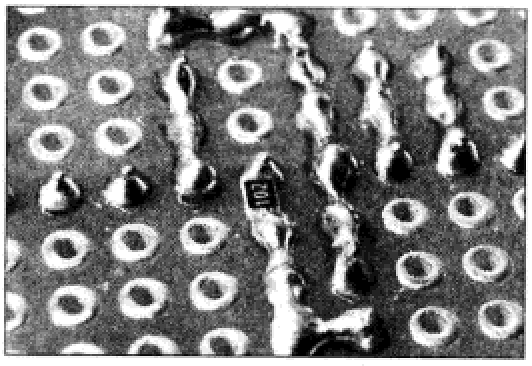


图9 贴片电阻可直接焊接在洞洞板的两个焊盘之间

附表　电阻型号与功率的关系

封装尺寸	功率
2512	1W
2010	3/4W
1812	1/2W
1210	1/3W
1206	1/4W
0805	1/8W 或 1/10W
0603	1/10W 或 1/12W
0402	1/16W

文章的最后，我们来看看阻值的问题。电阻的阻值并不是工整的，不是从1Ω到10MΩ，包含了其中每一个整数的阻值。因为一些特殊原因，电阻值是特定的一些。它们看上去好像没有规律，其实是有定律的。有兴趣的朋友可以深入了解一下为什么阻值是特定的数值，但这并不重要，重要的是要了解我们在电子制作中常用的阻值有哪些。下面的30种阻值是电子制作中比较常用的。例如5Ω~1kΩ用于LED灯的限流电阻，5.1kΩ用于单片机电路中的上、下拉电阻。其实在30种阻值当中只要准备5、10、100、470、1k、5.1kΩ、10kΩ、100kΩ这几种，就可以基本应对大部分电子制作了。建议大家购买贴片电阻时选择0805封装、直插电阻选择1/4W或1/8W碳膜电阻即可，每支售价在1分钱左右。

电阻是爱好者必备之物，之前也有不少前辈介绍过它。本文中，我只是把自己的使用心得与大家分享。当初我小看了电阻，以为那小东西只那么一点门道，没想到深究下去却带给我更多的启发。当我回过头来再去观察手边不起眼的元器件时，发现它们变得陌生又有趣了。是呀，也许我应该停一停急躁的脚步，让我的元器件兴趣与元器件知识同步。Ⓦ

常用的30种电阻值，以欧姆（Ω）为单位的标称值：

- ◆5、10、51、100、200、470、510、620、750、820
- ◆1k、2.2k、4.7k、5.1k、7.5k、8.2k、10k
- ◆12k、15k、20k、47k、56k、68k、75k、82k
- ◆100k、200k、430k、510k、1M

光敏晶体管使用技巧

◎张晓东

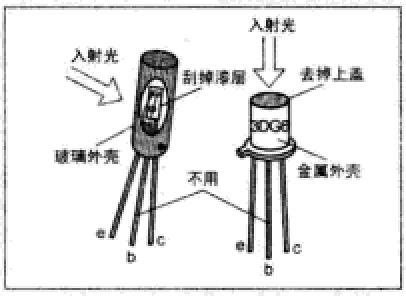
光敏晶体管作为光电转换元器件，在使用中除了注意管子的正确选择和安装外，还要特别注意做好光线的传输畅通，以确保其工作状况良好。下面就使用者需要掌握的一些基本常识介绍如下：

1. 在要求光电流比较大的电路中，可以选择光敏三极管或锗光敏二极管。在环境温度变化较大的环境中，以选用硅光敏晶体管为好。如果安装条件允许的话，应尽可能选用窗口及所带凸透镜大的光敏晶体管。光敏二极管与光敏三极管在性能上也有一定差别，通常光敏二极管的光电流小，输出特性线性度好，响应时间快，而光敏三极管的光电流大，输出特性线性度差，响应时间慢。

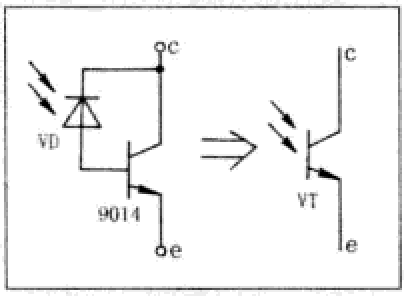
2. 光敏二极管只有在反向偏压下才能发挥作用，并且普通光敏二极管的反向工作电压大于10V时，才会有比较高的灵敏度，所以实际使用中应尽可能使管子的实际反向工作电压高一些。一般在要求光电流与照度成线性关系或要求工作频率高时，宜采用光敏二极管，在要求灵敏度高、工作频率低的开关电路中，则应首选光敏三极管。

3. 专门用于接收红外线光波信号的光敏二极管或光敏三极管，被统称为红外接收管，其外观与普通光敏晶体管有所不同。通常为了减少可见光对其工作产生干扰，管壳采用能够滤光的有色树脂封装（外观多呈深蓝色），可滤掉700nm以下波长的光线。常见红外接收管多为光敏二极管。

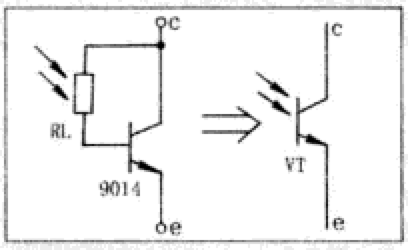
4. 普通玻璃壳二极管也有光敏特性，在业余条件下只要用小刀刮掉外壳上的黑漆皮，就可以直接当做光敏二极管使用。经实测表明，各种玻璃壳封装的国产2CP、2CK、2AP系列晶体二极管，它们的光敏特性都比较好，有的可以与光敏二极管相媲美。



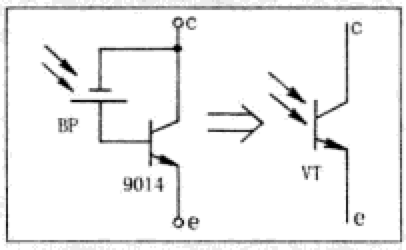
（a）晶体三极管改造法



（b）光敏二极管代用法



（c）光敏电阻器代用法



（d）光电池代用法

自制光敏三极管

5. 晶体三极管的管芯受到光照时，其集电极与发射极之间的反向穿透电流将会增大。利用这一特性，只要按附图（a）所示将玻璃封装管的外漆层用小刀刮掉，或者将金属封装管的管壳顶部用小锉刀锉掉（可用小片透明塑料或有机玻璃粘封窗口，以防尘），使光线能够照射到内部的管芯上，即可作为光敏三极管使用。而且被改造晶体三极管是什么极性（NPN或PNP），所获得的光敏三极管就是什么极性。由于光敏三极管工作时不需要基极引脚，因此可以利用那些基极引脚齐根折断而报废的晶体三极管进行改造。如果从已烧坏的手电筒聚光小电珠上切下聚光玻璃珠，覆盖并粘牢在金属封装管所开的窗口上，则不仅可起到防尘作用，而且由于玻璃珠的聚光作用，还可以增加管子的光灵敏度。另外，按照附图（b）～附图（d）所示，将光敏二极管VD（或刮掉玻璃外壳上黑漆层的普通硅晶体二极管）或普通光敏电阻器RL、光电池BP等，接在一只9014型晶体三极管的基极与集电极之间，就会构成一只NPN型的光敏三极管。如果调换光敏二极管VD、光电池BP的极性，并采用9015型晶体三极管，则组成一只PNP型光敏三极管。

6. 把光敏三极管和普通双极性三极管组合在一起，就构成了达林顿型光敏三极管。当这种光敏晶体管受到光照时，等效光敏二极管将光信号转换成电信号，并经两级三极管放大，其总的放大倍数相当于两只三极管放大倍数的乘积，所以灵敏度比普通光敏三极管要高得多。使用达林顿型光敏三极管时注意，一定要加上足够的限流电阻器，以防止烧毁管子。

7. 在安装光敏晶体管时，必须注意将它的窗口直接对着光源，使入射光线与窗口凸透镜或平面保持垂直，并注意受光表面的清洁，防止灰尘等的影响，确保光线能良好地直射到管芯上，以获得最高灵敏度。如果有必要，可在光路中加装会聚光线的光学透镜，或给光敏晶体管（包括作为光源的发光管）加装反光镜。红外光敏晶体管并非只对红外线敏感，在制作时要防止过强的环境光线（日光或灯光）照射，以免放大电路因输出饱和而失控，可通过加装红色有机玻璃滤光片的办法，来减少环境光的影响。

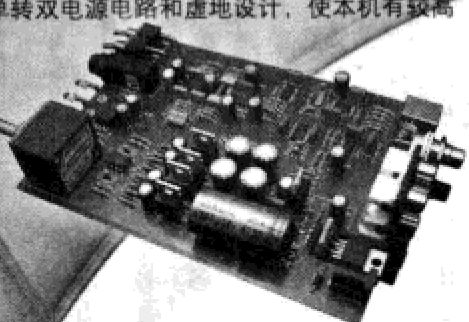
套件天地

购买方式：1. 邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座，《无线电》杂志社收，邮编100061，请在汇款单上注明相应套件名称及联系电话。

2. 淘宝店购买：http://boqu.taobao.com

MINI USB DAC套件——580元/套+15元（邮费）

特点：（1）采用BB公司新型解码芯片PCM1793和高品质数字接收芯片DIR9001。（2）耳放部分采用OP+BUF的框架模式，采用中功率管作为放大输出，能驱动例如H600等高阻耳机。（3）创新采用单转双电源电路和虚地设计，使本机有较高的信噪比。（4）全部采用高品质的元器件，所有的金环电阻为日本KOA金属膜，电容为nichicon的音响专用系列，固体电容大量使用的是德国WIMA，电位器采用的是ALPS 大蓝壳，面板为高精度CNC加工。

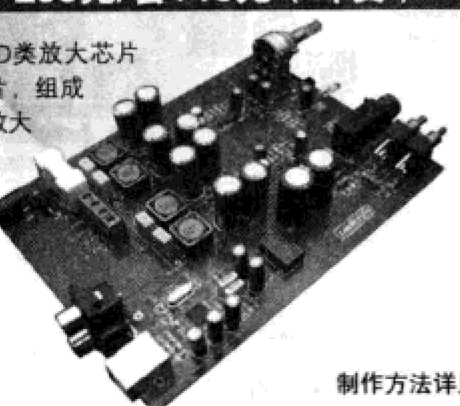


制作方法详见
《无线电》2010 年第 1 期杂志

MINI USB AMP套件——290元/套+15元（邮费）

特点：采用BB公司新型的HIFI高品质D类放大芯片TPA3121，同时配合USB接收解码芯片，组成带有USB功能的纯后级D类放大器，本放大器具有极高的效率，在小体积中实现2×50W功率。

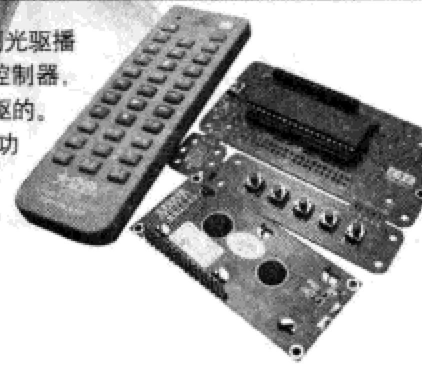
本套件不包含配套电源，其中功放的输入电压要求为 12 ~ 25V 直流，电流必须达到 3.5A 以上。如果使用笔记本电源，接口必须保持一致，中间为正。如果您希望增加配置，可选择：
①增加配套专用开关电源，需加 60 元。
②增加 USB 接收部分，需加 65 元。
③电位器升级为 ALPS 型，需加 35 元。



制作方法详见
《无线电》2010 年第 3 期杂志

用光驱制作CD转盘套件——99元/套+15元（邮费）

特点：光驱控制器是一款用单片机来控制光驱播放 CD 的控制板，网上称它为 CDROM 控制器。CDROM 控制器是通过 IDE 接口来控制光驱的。它的优点是能方便地实现 CD 机的基本功能，如：显示时间、曲目等，用遥控器、按键控制光驱播放、暂停、选曲、进出盘等。

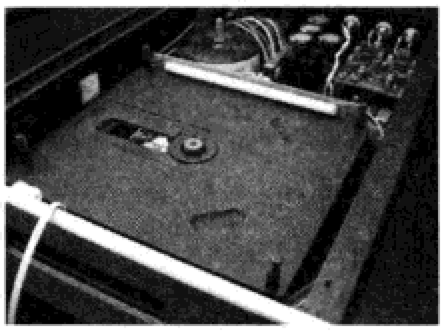


制作方法详见
《无线电》2010 年第 2 期杂志

CDM12CD机套件——价格1780元/套+50元（邮费）

特点：本套件是一款适合音响爱好者制作的顶推盖式CD机套件，采用VAM1202型激光头，全铝结构机芯，全铝遥控器，具有一路音频输出和一路数字同轴输出。

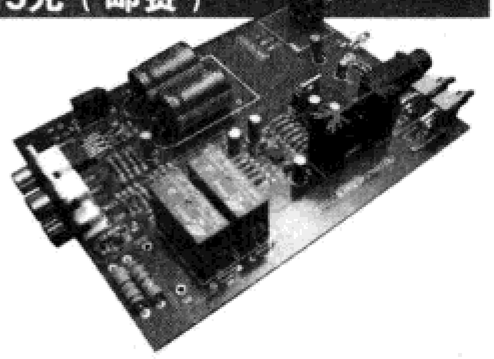
标准版：1780元/套+50元邮费
高阶版：2680元/套+50元邮费



制作方法详见
《无线电》2010 年第 4 期杂志

测量套件——99元/套+15元（邮费）

特点：本套件主要用来配合计算机声卡测量扬声器和音箱的各项参数，是一款DIY音箱简单实用的测量工具。

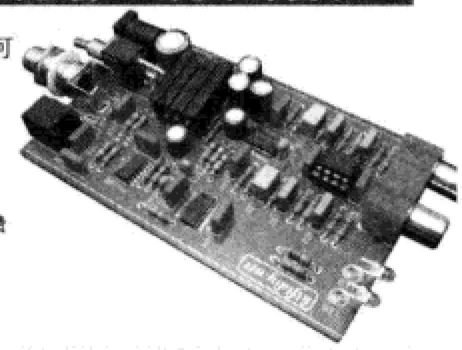


制作方法详见
《无线电》2010 年第 5 期杂志

MINI 1793 DAC套件——190元/套+15元（邮费）

特点：套件使用TI公司出品的PCM1793，可以实现24bit解码功能。套件的电路框架为：DIR9001+PCM1793+OPA2134。套件采用小体积极限设计。

散件套件：（PCB+PCB上所有元件）190元/套+15元邮费
整机套件：（散件套件+变压器+机壳）260元/套+15元邮费



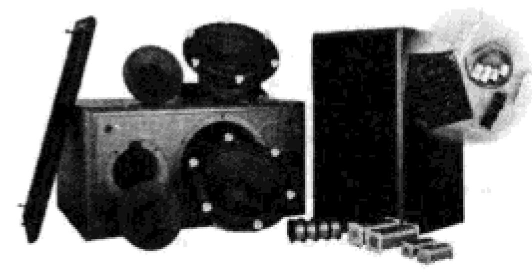
制作方法详见
《无线电》2010 年第 6 期杂志

Clair音箱套件——2980元+100元（邮费）

特点：这是二分频书架音箱套件，高音和低音均采用挪威SEAS扬声器单元，高音单元前面板采用了DXT技术，可以有效地改善高音的离轴响应及指向性，便于与低音单元衔接，减少障板的衍射等。

注：（1）因为套件重量为23kg，所以箱体发物流，扬声器单元发快递，运输费为100元，偏远地区的用户必须到就近的大城市自提套件。（2）套件音箱有4种木质：酸枝、枫木、胡桃及樱桃，购买之前请先与我们沟通。

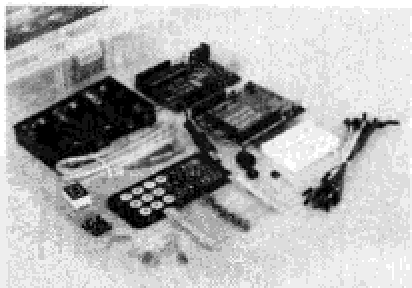
（此套件需提前预订）



制作方法详见
《无线电》2010 年第 8 期杂志

Arduino入门基础套件——380元/套+15元（邮费）

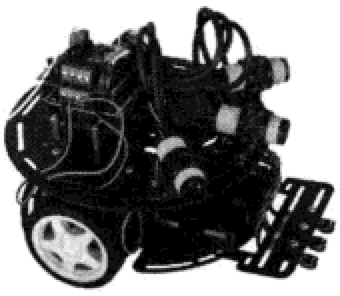
特点：Arduino基础入门套件一款学习工具。它帮助你用流行的Arduino工具体验电子科技无穷的乐趣。所有套件零件无须焊接，直接在面包板上插拔即可，非常适合学习。另外，本套件还附带了10 节实验课程，课程编排完全从初学者的角度考虑，每一节实验都配有图文结合的实验说明文档和非常有趣的例子程序，还有很大可供学习者发挥的空间， 非常适合Arduino互动媒体爱好者、机器人爱好者、电子爱好者学习使用。



制作方法详见
《无线电》2010 年第 10 期杂志

3PA机器小车套件——639元/套+15元（邮费）

特点：3PA机器小车采用2轮差速驱动，转弯半径趋近于零，机身采用高强度铝合金材料，高速电机加优质橡胶轮，运动灵活快速，适合在室内的平坦路面行进。小车使用Arduino控制器，编程简单。车身有很多安装孔，可以加装传感器、舵机、摄像头等，实现监控、寻线、避障等功能，可以用于机器人教学实践，也可用于机器车比赛。



制作方法详见《无线电》2010 年第 11 期杂志

6自由度机械臂套件——1270元/套+15元（邮费）

特点：6自由度机械臂采用高强度铝合金材料，由Arduino控制器加6个微型伺服电机（舵机）来实现控制，分别对应于臂、肘、腕（2个自由度）、张合5个关节和1个旋转底座，每个关节可在一定范围内运动，底座可以实现左右90°旋转。机械臂上的夹持器能轻松夹起最大直径58mm、大小100g以上的物品。这款机械臂可以用手柄或无线遥控模块进行操控，是个非常不错的制作项目和机器人演示教学平台。

制作方法详见《无线电》2010 年第 12 期杂志

本页套件不仅适合爱好者自制，还非常适合各类学校电子实验室的师生作为制作项目用。欢迎各校师生团购，咨询热线：010-67134361。

风靡全球的 Make: 登陆中国

technology on your time

爱上制作 系列丛书

160页全彩印刷
开本：16开
单册定价：35元

科技　时尚　创新　乐享

风靡全球的《MAKE》杂志书中文版《爱上制作》将告诉你如何利用科技改变生活！《爱上制作》系列丛书以动手制作为宗旨，内容涉及电子、计算机、汽车、电影、电视、通信、机械、木工、设计、户外、音乐、家庭等生活的方方面面。《爱上制作》书中的制作爱好者们被我们称为“Maker”，这些“Maker”的理念是——一切皆可制作！他们以图解的形式与你分享制作的乐趣，将带给你一个全新的生活理念。

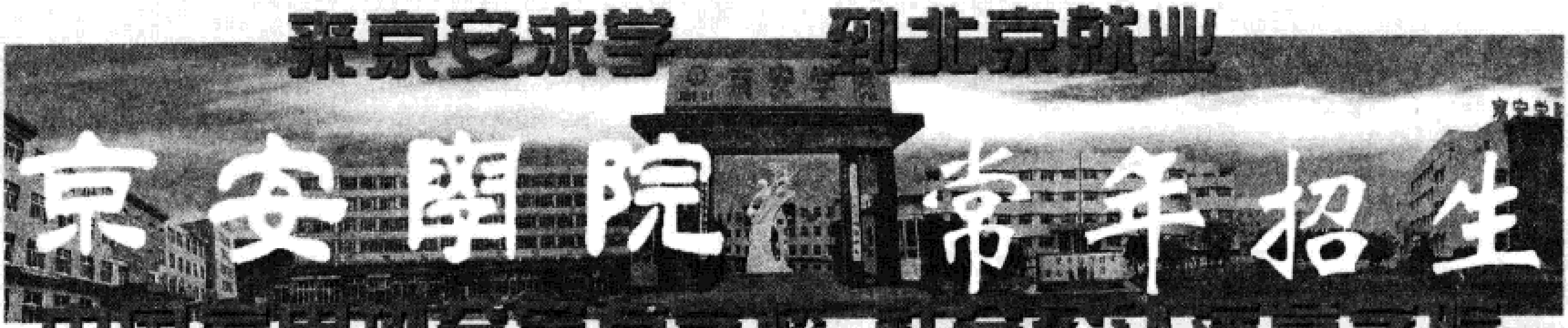
丛书全彩印刷，内容新奇有趣！

《无线电》杂志出品

人民邮电出版社出版

全国各地新华书店、当当网、卓越网等全面销售！

来京安求学　到北京就业



中国家电协会定点学校　社会公认满意学院

京安学院1985年创办，隶属于北京京安北方教育集团，26年来毕业学员26万余人。学院多次荣获“全国办学先进单位”称号，被中国质量万里行活动评为“教育教学信得过单位”。中央电视台、《人民日报》、《参考消息》、《中国青年报》等多家媒体对学院的办学理念、育人模式进行了多次报道，受到了社会各界人士的广泛赞誉。依托大学的师资、设备资源优势，使用自编教材（中国科技出版社出版），通俗易懂，确保学员能听懂、学会就业拿高薪。在校可以考取国家承认的大专或本科毕业证书、中（高）级职业资格证书和工程师证书。入学签订“包教保学保就业合同”，不能就业退还50%学费。历年来学员在京就业率达95%以上。

开设专业：　★电子类专业　★数控技术

★计算机类专业　★电工类专业　★汽修专业

另有特色一年制大专班

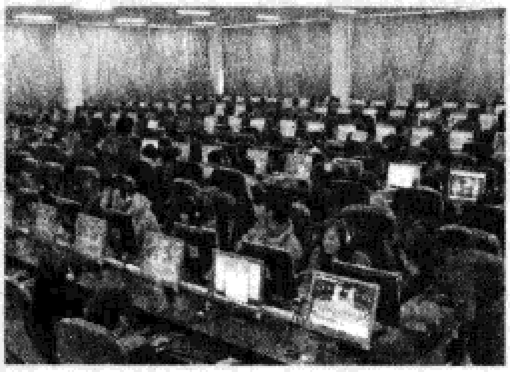
2011年度招176—185届，2月28号开学。除特殊标明外，每月28号开学，开学前两天北京西站有接待站。以上各专业均有函授学习，随时报名学习。

赵院长在全国高校高峰论坛上做精彩演讲

职业技能进校园活动

我校学员在首届技能维修大赛中夺冠

段书记和赵院长为发明教具老师颁奖



学校机房

毕业学员取得荣誉证书后合影

本院大专、本科函授取证，电子注册、网上查询、承认学历、常年招生，详见简章或浏览网址。

地址：(100068)北京市丰台区角门18号名流未来大厦711
电话:010-87570040　87570041
网址:www.jinganxy.com
Email:wyxwts@tom.com
咨询QQ:377942152 ,330849577
全国免费咨询热线：400 811 0022